

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
Carrera de Ingeniería Agronómica**

**RESPUESTA A BAJAS TEMPERATURAS DE TREINTA  
GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum* spp.), BAJO CONDICIONES  
CONTROLADAS. CUTUGLAHUA, PICHINCHA**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA AGRÓNOMA**

**JESSICA MARLENE AMAGUA BAUTISTA**

**QUITO – ECUADOR**

**2013**

## DEDICATORIA

*A Dios por iluminar mi vida*

*A mis padres Segundo y Eloísa por su amor, apoyo y por ser la luz de mis ojos.*

*A mis hermanos Belén y Omar, a mi querido sobrino Alex por ser la inspiración para ser mejor cada día.*

*A Ángel por el amor y apoyo incondicional.*

Jessica M.

## AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador, a mis maestros por el conocimiento recibido. De manera especial al Ing. Fabián Montesdeoca por su preocupación, enseñanza y dirección en la realización de la tesis, al Ing. Héctor Andrade y al Ing. Carlos Alberto Ortega por su importante aporte en la elaboración de este trabajo.

Un sincero agradecimiento al INIAP, a través del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos - Papa, por el financiamiento y facilidades obtenidas; en particular un sincero agradecimiento al Ing. Xavier Cuesta, Ing. Jorge Rivadeneira y la Ing. Cecilia Monteros por su importante colaboración para la culminación de la presente investigación. Al Proyecto Ampliando la Frontera Agrícola para Disminuir los Efectos del Cambio Climático (Clipapa).

A mi querida familia por el cariño y el apoyo que me han brindado durante toda mi vida, gracias por estar siempre a mi lado.

Un profundo agradecimiento a mis tíos Ángel, Antonia, Aníbal, a mi abuelita Josefina por todo el cariño y apoyo en lo personal y lo profesional.

A Ángel por el amor, la alegría, el apoyo y el tiempo compartido. Gracias por existir en mi vida.

A todos mis amigos, en especial a Diego, Dianita, Daicy, Pato, Israel, Rodrigo, Mary, Silvana, Johanna, Edgar y Myriam por su ayuda, compañía y cariño.

## AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, **JESSICA MARLANE AMAGUA BAUTISTA** en calidad de autor del trabajo de investigación o tesis realizada sobre **"RESPUESTA A BAJAS TEMPERATURAS DE TREINTA GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum* spp.), BAJO CONDICIONES CONTROLADAS. CUTUGLAHUA, PICHINCHA"; "RESPONSE TO LOW TEMPERATURES OF THIRTY POTATO GENOTYPES (*Solanum* spp.), UNDER CONTROLLED CONDITIONS. CUTUGLAHUA, PICHINCHA."** por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos los que me pertenecen o de parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 04 de Octubre de 2013

A handwritten signature in blue ink, reading "JESSICA AMAGUA", is written over a horizontal dotted line.

**FIRMA**

**C.C. 172102152-3**

## CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor de trabajo de graduación cuyo título es: **"RESPUESTA A BAJAS TEMPERATURAS DE TREINTA GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum* spp.), BAJO CONDICIONES CONTROLADAS. CUTUGLAHUA, PICHINCHA"**, presentado por la señorita **JESSICA MARLENE AMAGUA BAUTISTA**, previo a la obtención del Título de Ingeniera Agrónoma, considero que el proyecto reúne los requisitos necesarios.

Tumbaco, 04 de Octubre de 2013



.....  
Ing. Agr. Fabian Montesdeoca M., M.B.A.  
**TUTOR**

Tumbaco, 04 de Octubre de 2013

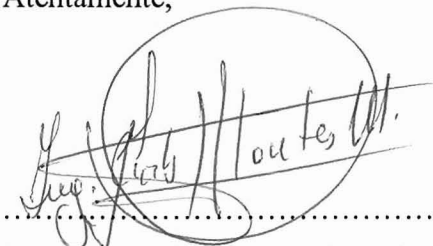
Ingeniero  
Juan León Fuentes  
**DIRECTOR DE CARRERA DE  
INGENIERÍA AGRONÓMICA**  
Presente.

Señor Director:

Luego de las revisiones técnicas realizadas por mi persona del trabajo de graduación, **"RESPUESTA A BAJAS TEMPERATURAS DE TREINTA GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum* spp.), BAJO CONDICIONES CONTROLADAS. CUTUGLAHUA, PICHINCHA"**, llevado a cabo por parte de la señorita egresada: **JESSICA MARLENE AMAGUABAUTISTA** de la Carrera de Ingeniería Agronómica, ha concluido de manera exitosa, consecuentemente la indicada estudiante podrá continuar con los trámites de graduación correspondientes de acuerdo a lo que estipula las normativas y disposiciones legales.

Por la atención que se digne dar a la presente, reitero mis agradecimientos

Atentamente,



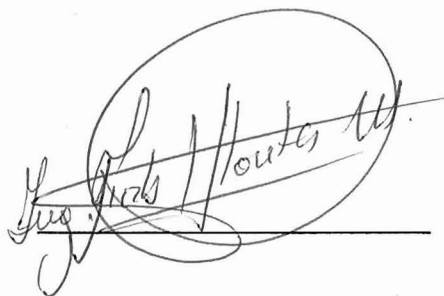
Ing. Agr. Fabián Montesdeoca M., M.B.A.

**TUTOR**

**RESPUESTA A BAJAS TEMPERATURAS DE TREINTA  
GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum* spp.), BAJO CONDICIONES  
CONTROLADAS. CUTUGLAHUA, PICHINCHA**

**APROBADO POR:**

**Ing. Agr. Fabián Montesdeoca M., M.B.A.  
DIRECTOR DE TESIS**

A handwritten signature in dark ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is cursive and appears to read 'Fabián Montesdeoca'.

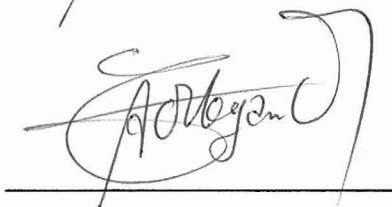
**Ing. Aida Arteaga M., M.Sc.  
PRESIDENTE DE TRIBUNAL**

A handwritten signature in dark ink, consisting of a stylized name followed by a flourish.

**Ing. Agr. Héctor Andrade B., M.Sc.  
PRIMER VOCAL**

A handwritten signature in dark ink, featuring a large, sweeping initial 'H'.

**Ing. Agr. Carlos Alberto Ortega O., M.Sc.  
SEGUNDO VOCAL**

A handwritten signature in dark ink, with a stylized name and a large, circular flourish at the end.

**2013**

# CONTENIDO

CAPÍTULO	PÁGINAS
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Cultivo de la papa .....	4
2.1.1. Descripción.....	4
2.1.2. Taxonomía.....	4
2.2. Mejoramiento genético .....	5
2.2.1. Programa de Mejoramiento en papa del INIAP .....	5
2.2.2. Esquema de mejoramiento .....	7
2.3. Importancia del cultivo.....	8
2.4. Requerimiento del cultivo.....	8
2.4.1. Humedad .....	8
2.4.2. Luminosidad.....	9
2.4.3. Temperatura .....	9
2.5. Heladas .....	9
2.5.1. Comportamiento de las heladas .....	10
2.5.2. Tipos de heladas .....	10
2.6. Tipos de congelamiento .....	12
2.6.1. Congelamiento extracelular .....	12
2.6.2. Congelamiento intracelular.....	13
2.7. Factores ambientales que influyen en la intensidad de daño por helada .....	13
2.7.1. Temperatura y tiempo de exposición a la helada .....	13
2.7.2. Velocidad de congelación y descongelación de los tejidos .....	13
2.7.3. Aclimatación de la planta .....	14
2.8. Factores fisiológicos asociados a la resistencia a las heladas.....	14
2.8.1. La presión osmótica.....	14
2.8.2. Lípidos.....	14
2.8.3. Genotipo .....	14
2.8.4. La recuperación posterior a las heladas .....	15
2.8.5. Etapa fenológica de la planta .....	15
2.9. Factores morfológicos asociados a la resistencia a las heladas .....	15
2.9.1. El tejido de empalizada.....	15
2.9.2. El índice estomático .....	15
2.10. Métodos de protección contra heladas .....	15
2.10.1. Métodos pasivos .....	15



<b>CAPÍTULO</b>	<b>PÁGINAS</b>
2.10.2. Métodos activos.....	17
2.11. Resistencia a la heladas .....	18
2.12. Evasión.....	18
2.13. Tolerancia a las heladas.....	18
2.14. Vías de señalización del estrés.....	19
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
3.1. Ubicación .....	23
3.1.1. Características del lugar.....	23
3.1.2. Características de temperatura y humedad del invernadero .....	23
3.1.3. Características ambientales del fitotrón .....	23
3.1.4. Características ambientales del fitotrón para el experimento. ....	23
3.2. Materiales y equipos.....	24
3.2.1. Material biológico .....	24
3.2.2. Materiales y equipos de invernadero .....	24
3.2.3. Materiales y equipos de oficina .....	24
3.3. Factores en estudio .....	25
3.4. Tratamientos.....	26
3.5. Diseño experimental.....	27
3.6. Unidad experimental .....	27
3.7. Esquema del análisis estadístico .....	27
3.7.1. Análisis funcional.....	27
3.8. Variables y métodos de evaluación.....	27
3.8.1. Contenido de clorofila .....	28
3.8.2. Nivel de daño por helada .....	28
3.8.3. Contenido relativo de agua en las hojas (CRA) .....	28
3.9. Selección de genotipos .....	28
3.10. Manejo específico del experimento .....	29
3.10.1. Selección de genotipos para la evaluación.....	29
3.10.2. Sustrato para las macetas .....	29
3.10.3. Siembra .....	29
3.10.4. Riego .....	29
3.10.5. Fertilización.....	30
3.10.6. Controles fitosanitarios.....	30
3.10.7. Fitotrón.....	30
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>

<b>CAPÍTULO</b>	<b>PÁGINAS</b>
4.1. Contenido de Clorofila .....	31
4.2. Contenido relativo de agua (CRA) .....	35
4.3. Nivel de Daño.....	37
4.4. Análisis de correlación .....	42
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>44</b>
<b>VII. RESUMEN.....</b>	<b>45</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>47</b>
<b>VIII. REFERENCIAS .....</b>	<b>49</b>
<b>IX. ANEXOS .....</b>	<b>56</b>
<b>X. APÉNDICE .....</b>	<b>67</b>

## LISTA DE ANEXOS

ANEXOS	PÁG.
1 Medidor de clorofila SPAD – 502 Plus.	56
2 Fitotrón	57
3 Características de genotipos seleccionados para evaluar la respuesta a bajas temperaturas bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	58
4 Análisis Físico-Químico del sustrato usado en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	59
5 Registro de datos de la variable contenido de clorofila antes en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	60
6 Registro de datos de la variable contenido de clorofila después en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	61
7 Registro de datos de la variable contenido relativo de agua en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	62
8 Registro de datos de la variable nivel de daño en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	63
9 Registro de promedios de las Variables en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	64
10 Promedio y prueba de Tukey al 5 % para Interacción GxT en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	65
11 Promedio y prueba de Tukey al 5% para interacción GxT en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	66

## LISTA DE CUADROS

CUADROS	PÁG.
1 Genotipos de papa para evaluar la respuesta a bajas temperaturas, bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	25
2 Temperaturas para evaluar la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.) bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	26
3 Tratamientos para evaluar la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.) bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	26
4 Esquema del análisis de la varianza para evaluar genotipos, temperaturas y tratamientos. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	27
5 Análisis de la Varianza para Contenido de Clorofila 10 días antes y 10 días después de exponer a bajas temperaturas 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	32
6 Prueba de Tukey al 5 % de significación para Contenido de Clorofila 10 días antes y 10 días después de exponer a bajas temperaturas 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	33
7 Prueba de Tukey al 5 % de significación para Temperaturas 10 días después en el estudio de la respuesta de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	33
8 Análisis de la Varianza para Contenido Relativo de Agua en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	35
9 Prueba de Tukey al 5 % de significación para Contenido Relativo de Agua en la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	36
10 Prueba de Tukey al 5 % de significación para la interacción GxT en 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	37
11 Análisis de la Varianza para Nivel de Daño en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), en condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	38
12 Prueba de Tukey al 5 % de significación para Nivel de Daño en la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	39

<b>CUADROS</b>	<b>PÁG.</b>
13 Prueba de Tukey al 5 % de significación para Temperaturas en 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	39
14 Prueba de Tukey al 5 % se significación para la interacción GxT, bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	40
15 Coeficientes de correlación entre las variables evaluadas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	42

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICOS	PÁG.
1      Contenido de Clorofila 10 días antes y 10 días después de exponer a bajas temperaturas 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	34
2      Nivel de daño en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa ( <i>Solanum</i> spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.	41

## LISTA DE FIGURAS

FIGURAS		PÁG.
1	Descripción botánica de la planta de papa.	4
2	Esquema de Mejoramiento de papa del PNRT-Papa.	7
3	Zonas susceptibles a heladas en el Ecuador.	10
4	Daños por heladas.	12
5	Daños por heladas.	12
6	Vías de señalización de estrés.	19

**RESPUESTA A BAJAS TEMPERATURAS DE TREINTA GENOTIPOS DE PAPA  
(*Solanum* spp.), BAJO CONDICIONES CONTROLADAS. CUTUGLAHUA, PICHINCHA**

**RESUMEN**

En la presente investigación se evaluaron 10 variedades nativas, 8 mejoradas y 12 clones promisorios de papa, las cuales se sometieron a tres temperaturas (3°C, 0°C y -3 °C) durante 3 horas utilizando un fitotrón, se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 30 x 3 con 5 observaciones, las variables evaluadas fueron: Contenido de clorofila (CC) 10 días antes y 10 días después del estrés, contenido relativo de agua en las hojas (CRA) y nivel de daño (ND). Los principales resultados fueron: Para CC 10 días antes, el genotipo con el mayor promedio fue el clon 98-2-6 con 50.72 unidades SPAD (USP) y 10 días después la variedad Wagra singa con 42.31 (USP). Para la variable CRA el mayor promedio obtuvo la variedad nativa Uvilla con 76.01 %. En la variable ND el genotipo con el menor nivel de daño (grado 0) fue el clon 97-25-3. De acuerdo a los resultados obtenidos la variedad nativas Uvilla y el clon 97-25-3 se seleccionaron como genotipos resistentes a las heladas por presentar bajo nivel de daño (grado 0 y 1). En la siguiente etapa de investigación se recomienda evaluar en campo los genotipos mencionados incluyendo además, las variedades Tushpa, INIAP-Victoria, INIAP-Puca Shungo, INIAP-Yana Shungo, INIAP-Fripapa, Superchola y los clones 00-24-1, 99-99-2 y 399062-115, los mismos que tuvieron respuesta positiva en alguna de las variables evaluadas.

**PALABRAS CLAVE:** PAPA, SOLANUM TUBEROSUM, MEJORAMIENTO GENÉTICO, RESISTENCIA A LAS HELADAS, FITOTRONES



**RESPONSE TO LOW TEMPERATURES OF THIRTY POTATO GENOTYPES (*Solanum* spp.), UNDER CONTROLLED CONDITIONS. CUTUGLAHUA, PICHINCHA.**

**SUMMARY**

In this study, we evaluated 10 native potato varieties, 8 breeding varieties and 12 promising clones. These were subjected to three temperatures ( 3°C , 0°C and -3°C ) for 3 hours using a phytotron , we used a completely randomized design with a factorial arrangement of 30 x 3 with 5 observations , the variables were : chlorophyll content (CC ) 10 days before and 10 days after the stress, relative water content in leaves ( RWC ) and level of damage (ND). The main results were: For CC 10 days before, the genotype with the highest average was the clone 98-2-6 with 50.72 SPAD units ( USP ) and 10 days after the variety Wagra singa with 42.31 (USP ) . For the variable CRA, the highest average was obtained for Uvilla with 76.01%. In the variable ND, the genotype with the lowest level of damage (grade 0) was the clone 97-25-3. According to the results obtained Uvilla and clone 97-25-3 genotypes were selected as resistant to frost damage presenting low level (grade 0 and 1). In the next stage of research is recommended to evaluate the genotypes in the field including also the variety Tushpa, INIAP -Victoria , INIAP - Puca Shungo , INIAP - Yana Shungo , INIAP - Fripapa , Superchola and clones 00-24-1 , 99 -99 to 2 and 399062-115 , the same who had positive response in any of the variables.

**KEY WORDS:** POTATO, SOLANUM TUBEROSUM, PLANT BREEDING, RESISTANCE TO FROST, PHYTOTRON.

## I. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos alimenticios más importantes a nivel mundial, ocupa el cuarto lugar en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz (Devaux *et al.*, 2010). En el Ecuador la producción de papa se localiza principalmente en tres zonas de la Sierra, Norte (Carchi e Imbabura), Centro (Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar) y Sur (Cañar y Azuay). Se siembra durante todo el año, dependiendo de las características propias de cada zona y los mayores rendimientos se obtienen entre los 2900 y 3300 msnm, donde la temperatura promedio fluctúa entre los 9 y 11 °C (Andrade *et al.*, 2002 y Devaux *et al.*, 2010).

El cultivo de papa es afectado por un sin número de limitantes de origen biótico y de origen abiótico las cuales en los últimos años se han hecho más evidentes por efectos del llamado cambio climático (Franco, 2002), el cual ha producido en los últimos años mayor incidencia de algunos fenómenos como temperaturas extremadamente altas, fuerte precipitación, déficits de humedad en los suelos, incrementos en la intensidad de vientos, sequías, heladas, así como brotes de plagas y enfermedades en algunas regiones (Estrada, 2001).

En lo que se refiere a las heladas, este es uno de los factores meteorológicos, que dependiendo de su intensidad, duración y la fase fenológica en que se encuentra el cultivo puede provocar grandes daños en la agricultura (INAMHI, 2011). En el Ecuador las heladas se pueden presentar en cualquier mes del año. Sin embargo, en los meses de julio, agosto septiembre, noviembre y diciembre son más frecuentes, por otro lado en los meses de enero, marzo, julio, agosto y diciembre hay mayor riesgo en zonas de influencia de la cordillera central y occidental con temperaturas promedio mínimas que fluctúan entre -1.0 a - 2.2 °C (INAMHI, 2011).

La sensibilidad de la planta a este factor reduce la producción de papa en millones de hectáreas a nivel mundial. Las pérdidas reportadas en los Andes entre temperaturas de -3 °C a -4 °C causan una reducción estimada de la producción anual de 30 % en promedio (Estrada, 2000) y en el Ecuador de hasta el 100 % (Cuesta, 2011)<sup>1</sup>.

Varias prácticas agronómicas pueden reducir estos efectos como: selección del lugar a cultivar (las pendientes evitan el efecto de las heladas), selección de especies, fechas de siembra, manejo de la fertilización, manejo de la humedad del suelo, uso de calefactores, ventiladores y aspersores

---

<sup>1</sup>Cuesta, X. 2011. Pérdidas en papa por heladas en Ecuador. Técnico del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos rubro Papa del INIAP. Comunicación personal

(Martínez *et al.*, 2007). Reconociendo que estas actividades no son tan efectivas en combatir heladas, el mejoramiento genético es necesario (Vega and Bamberg, 1995).

Ante este panorama los programas de mejoramiento genético de papa tienen el gran reto de generar variedades con resistencia a bajas temperaturas que sean capaces de adaptarse a los cambios paulatinos del clima y sean altamente productivas, además de que éstas sean resistentes a factores bióticos emergentes (Gabriel *et al.*, 2009). Se ha evidenciado la existencia de valiosas fuentes de resistencia a heladas en especies cultivadas de *S. andigena*, *S. stenotomum*, *S. ajanhuiri*, *S. curtilobum* y *S. juzepczukii* (Ochoa, 2001). Mientras que Estrada (2000) menciona que hay al menos unas 15 especies diploides resistentes en los Andes que toleran las bajas temperaturas de -5 °C hasta -7 °C por 2 a 3 horas y que se pueden cruzar con las especies cultivadas como (*S. phureja*).

Estrada (2000) indica que varios factores fisiológicos están asociados con la resistencia a las heladas, como; la presión osmótica, Contenido de lípidos, proteínas, pigmentos, almidón, azúcares, cambios en los compuestos moleculares, la recuperación posterior a las heladas, sustancias de crecimiento (Ácido Abscísico ABA y Cloruro 2-cloroetiltrimetilamonio CCC).

En la presente investigación se evaluó contenido relativo de agua en las hojas (CRA), contenido de clorofila y nivel de daño; el CRA es un indicador para determinar genotipos con resistencia a heladas (Monteros, 2000) y sequía (Hinojosa, 2009), el contenido de clorofila también se estudió por ser un método no destructivo y que indica el daño provocado por las heladas (Greaves and Wilson, 1986) y el nivel de daño el cual muestra visiblemente la destrucción que sufren las plantas bajo condiciones de estrés por bajas temperaturas (Vega y Bamberg, 1995).

Dada la importancia de las heladas y de los efectos negativos que producen en la producción en zonas donde se cultiva papa, el INIAP a través de su programa de mejoramiento para resistencia a factores bióticos pretende generar nuevas variedades con resistencia a las heladas, aceptable calidad culinaria y buen rendimiento, la cual constituye en una alternativa para el agricultor para reducir los efectos negativos que causan las heladas.

Para la presente investigación se seleccionaron 30 genotipos de papa del INIAP los cuales presentan las mejores características agronómicas, calidad agroindustrial y resistencia y/o tolerancia a lancha (*Phytophthora infestans*) y virus (Cuesta, 2013)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Cuesta, X. 2013. Características de selección de genotipos para mejoramiento. Técnico del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos rubro Papa del INIAP. Comunicación personal

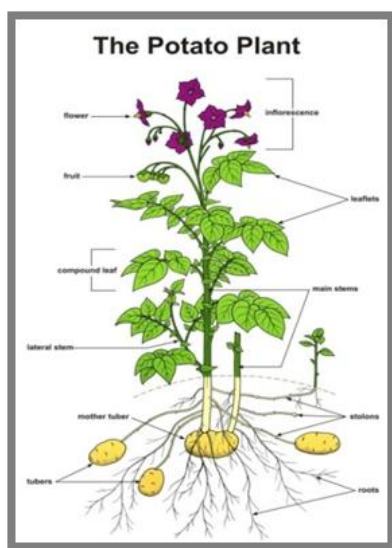
Por lo mencionado, la presente investigación se planteó estudiar la respuesta a bajas temperaturas en genotipos de papa (nativas, mejoradas y clones promisorios), bajo condiciones controladas, en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, ubicado en Cutuglahua, Pichincha. Específicamente se buscó determinar el nivel de daño, el contenido hídrico y de clorofila en treinta genotipos de papa expuestos a bajas temperaturas y seleccionar aquellos que presenten resistencia a bajas temperaturas para su posible uso en mejoramiento para el desarrollo de nuevas variedades.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Cultivo de la papa

#### 2.1.1. Descripción

La papa es una planta herbácea, con hábito de crecimiento rastrero o erecto, generalmente de tallos gruesos y entrenudos cortos, estos son huecos o medulosos, excepto en los nudos que son sólidos, de forma angular y por lo general verdes o rojo púrpura (Figura 1). Los tubérculos son tallos carnosos que se originan en el extremo del estolón y tienen yemas y ojos. El follaje normalmente alcanza una altura de entre 0.60 a 1.50 m. Las hojas son compuestas y pinnadas y se ordenan de forma alterna a lo largo del tallo. Las flores son pentámeras (cinco pétalos) con pétalos de varios colores (generalmente blanco, amarillo, rojo y púrpura). El fruto es una baya pequeña y carnosa de forma redonda u ovalada que contiene las semillas sexuales (Cuesta *et al.*, 2002 y FAO, 2008).



**Figura 1.** Descripción botánica de la planta de papa.

**Fuente:** Centro Internacional de la Papa (CIP, 2013).

#### 2.1.2. Taxonomía

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una especie perteneciente a la familia de las Solanáceas que actualmente se cultiva en todo el mundo. Huamán y Spooner (2002), basándose en los caracteres florales la clasifican como:

Familia: *Solanaceae*  
 Género: *Solanum*  
 Sección: *Petota*

La sección *Petota* se subdivide en series, especies y subespecies. La papa puede ser clasificada en niveles de ploidía, el más utilizado es el que reconoce las ocho especies cultivadas de papa.

<b>Especies</b>	<b>Número de cromosomas</b>	<b>Nivel de ploidía</b>
<i>S. ajanhuiri</i> <i>S. goniocalyx</i> <i>S. phureja</i> <i>S. stenotomum</i>	$2n = 2x = 24$	diploide
<i>S. chaucha</i> <i>S. juzepczukii</i>	$2n = 3x = 36$	triploide
<i>S. tuberosum</i> spp. <i>tuberosum</i> spp. <i>Andigena</i>	$2n = 4x = 48$	tetraploide
<i>S. curtilobum</i>	$2n = 5x = 60$	pentaploide

Spp. = subespecie

## 2.2. Mejoramiento genético

### 2.2.1. Programa de Mejoramiento en papa del INIAP

Se resume el proceso de obtención de nuevas variedades de papa según Cuesta *et al.*, (2013).

En el Ecuador, se estima existen aproximadamente 400 variedades de papa entre nativas, mejoradas y silvestres, además de algunas variedades foráneas del Centro Internacional de la Papa (CIP). Las cuales han sido caracterizadas para varios caracteres y son conservadas por el INIAP en la denominada colección Ecuatoriana de papa (CEP).

El método de mejoramiento genético tradicionalmente usado por el INIAP es el de “cruzamiento entre progenitores con características complementarias” que consiste en seleccionar y cruzar los mejores genotipos de la CEP con altos niveles de resistencia a factores abióticos y bióticos, calidad, precocidad y altos rendimientos, con el objetivo de combinar y acumular las mejores características en la descendencia de plantas que se obtienen a partir de ellos.

Los mejores clones seleccionados son evaluados por calidad de tubérculo y características de procesamiento, contenido de materia seca, azúcares reductores, glicoalcaloides, decoloración enzimática y antioxidantes.

Los clones seleccionados son comparados con varios de los clones recomendados y variedades comerciales en ensayos de rendimiento en varias localidades con réplicas durante al menos tres años para medir la adaptación y estabilidad bajo diferentes ambientes. Cada año los clones son descartados de los ensayos cuando no muestren ventajas sobre los recomendados.

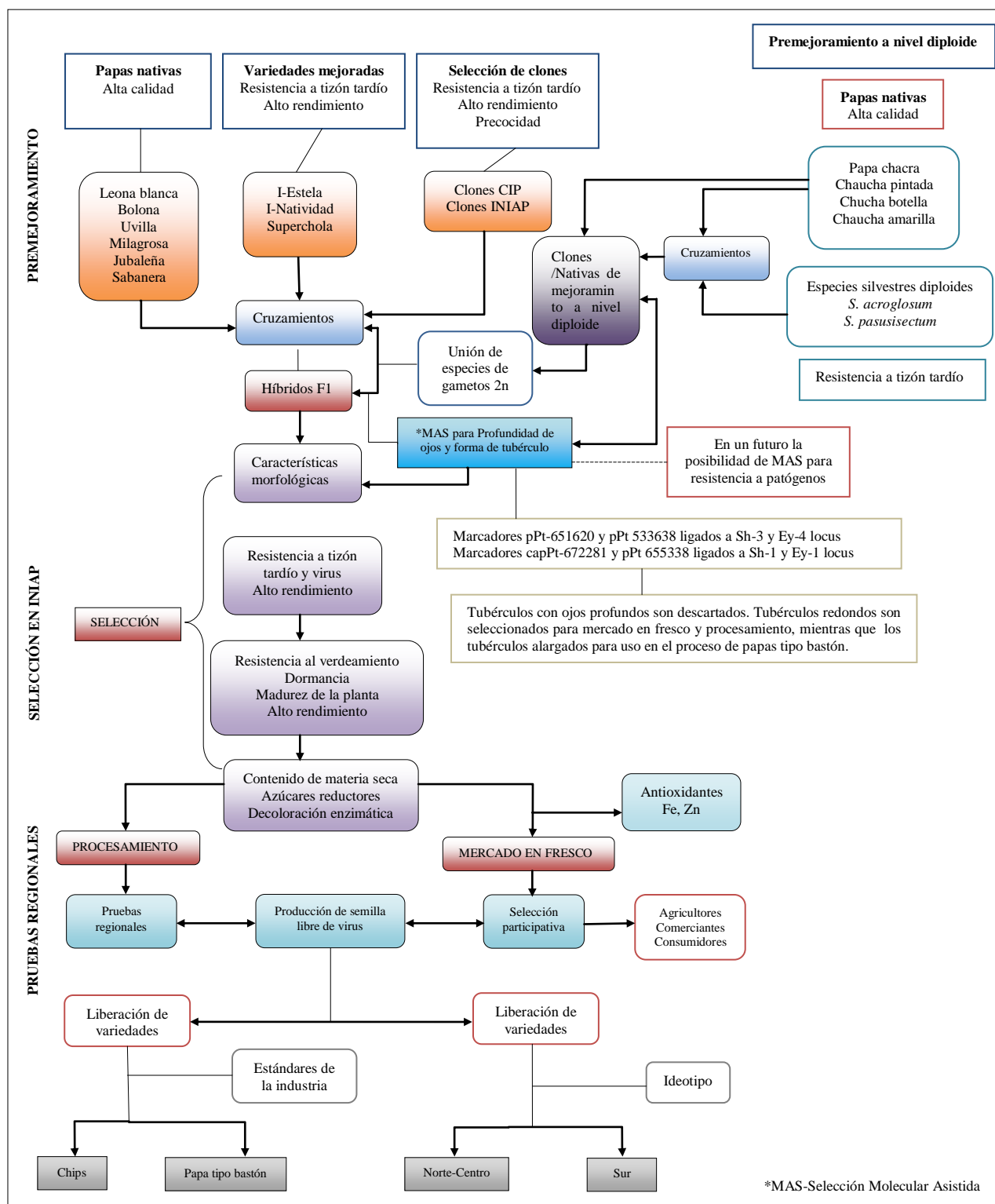
De acuerdo a las características de calidad externa e interna de los clones pueden ser seleccionados para procesamiento o mercado en fresco de acuerdo a los ideotipos requeridos o estándares de la industria.

Para el mercado en fresco, para los procesos de selección participativa se incluyen agricultores, comerciantes y consumidores. Mientras que para el mercado de procesamiento, los clones con las características requeridas por la industria serán evaluados por adaptación y calidad para procesamiento en forma de hojuelas y papa tipo bastón.

Al final basado en el rendimiento de los clones en los diferentes ensayos y la preferencia de los diferentes actores (agricultores, comerciantes y consumidores) o el procesamiento industrial las nuevas variedades con las características requeridas son liberadas.

## 2.2.2. Esquema de mejoramiento

El INIAP tiene el siguiente esquema de mejoramiento de papa (Figura 2):



**Figura 2.** Esquema de Mejoramiento de papa del PNRT-Papa.

**Fuente:** INIAP, 2013.



### **2.3. Importancia del cultivo**

La papa es uno de los cultivos alimenticios más importantes del mundo junto con el trigo y el arroz. Por su alto valor nutritivo, adaptabilidad a diversos climas y sistemas de cultivo, es uno de los diez alimentos de mayor producción en los países en desarrollo. La papa en el Ecuador, tiene importancia económica, social y cultural. La adaptación del cultivo a las condiciones de diversos pisos ecológicos en la región interandina posibilita a un grupo heterogéneo de productores a desarrollarlo, igualmente en diferentes condiciones tecnológicas, calidad de recursos de producción, acceso a servicios de asistencia técnica, crédito y otros (Devaux *et al.*, 2010).

Una fracción importante del cultivo se desarrolla en condiciones de subpáramo, particularmente en el subpáramo húmedo. Aunque el cultivo se encuentra en los valles bajos, debido a presión demográfica, la tendencia actual es un desplazamiento hacia el páramo, con el consiguiente deterioro ambiental y el riesgo de pérdida del cultivo por heladas (Andrade *et al.*, 2002).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el Ecuador para el 2011, se produjo un promedio de 339 038 t de papa al año, en una área sembrada de 48 210 ha y un rendimiento de 7.0 t/ha. Con un consumo anual per cápita de 31.8 kilogramo de papa (Devaux *et al.*, 2010).

En cuanto al valor nutritivo el tubérculo de la papa es considerado como una fuente importante de vitaminas, minerales y fitonutrientes debido a su alto consumo diario. Además es rico en carbohidratos, este aporta con cantidades significativas de proteínas, con un buen balance de aminoácidos, vitaminas C, B6, B1, folato. Los minerales, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes hierro y zinc. Además posee un alto contenido de fibra dietética, especialmente cuando es consumido con cáscara y es rico en antioxidantes (polifenoles, vitamina C, carotenoides y tocoferoles). Las papas frescas son virtualmente libres de grasa y colesterol (Cuesta, 2012).

### **2.4. Requerimiento del cultivo**

#### **2.4.1. Humedad**

La humedad relativa moderada (60 - 70 %) es un factor muy importante para el éxito del cultivo. La humedad excesiva (> 70 %) en el momento de la germinación del tubérculo y en el periodo desde la aparición de las flores hasta la maduración del tubérculo resulta nociva. Una humedad ambiental (> 80 %) excesivamente alta favorece el ataque de enfermedades, por tanto esta circunstancia habrá que tenerla en cuenta (FAO, 2008).

#### **2.4.2. Luminosidad**

El inicio del crecimiento del tubérculo está influenciado por la duración de la luz diaria; por consiguiente, la intensidad de luz recibida durante este período tendrá un marcado efecto sobre el crecimiento posterior de los tubérculos, ya que la intensidad lumínica es un factor importante en la síntesis de carbohidratos a través del proceso de la fotosíntesis (Gawronska y Dwelle, 1989).

#### **2.4.3. Temperatura**

El clima desempeña un factor importante en la producción de papa, la temperatura ideal del suelo para que el proceso de tuberización sea exitoso es de 15-18 °C y la del ambiente fluctúa entre los 20 y 25 °C (Oyarzún *et al.*, 2002).

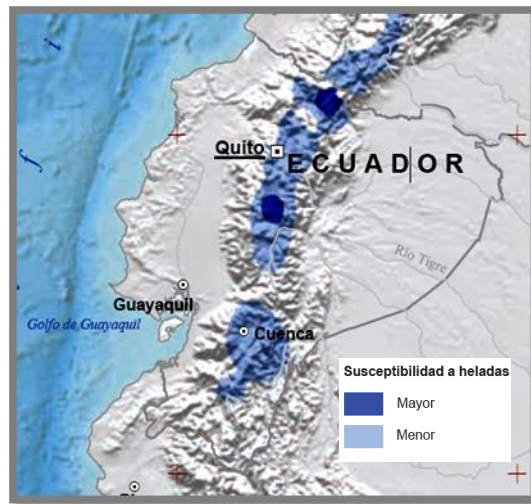
#### **2.5. Heladas**

La helada es un fenómeno atmosférico que se presenta cuando la temperatura del aire en cercanías del suelo, de 1.5 a 2.0 metros, desciende por debajo de cero grados Celsius, este fenómeno es conocido como helada meteorológica (FAO, 2010).

Desde el punto de vista agrícola, el concepto helada admite una interpretación más biológica, pudiendo considerar como tal, a los descensos térmicos capaces de causar daños a los tejidos vegetales, las cuales varían según la especie, variedad, estado fisiológico, sanitario y edad de la planta (Monteros, 2000).

Por lo tanto la helada agronómica es el descenso de la temperatura, no necesariamente por debajo de 0 °C, que afectan a uno o varios cultivos y se la puede definir como la temperatura mínima que afecta sensiblemente al normal crecimiento y desarrollo de la planta afectando sus principales funciones y disminuyendo su potencial productivo (FAO, 2010).

En la Figura 3 se muestran las áreas más susceptibles a las heladas en el Ecuador.



**Figura 3.** Zonas susceptibles a heladas en el Ecuador.

**Fuente:** Comunidad Andina (CAN, 2009).

### 2.5.1. Comportamiento de las heladas

Las temperaturas mínimas se registran antes de la salida del sol (5 ó 6 de la mañana), las heladas ocurren de madrugada, normalmente entre 1 a 6 de la mañana y pueden tener una duración de 1 a 7 horas (Carlos, 2010).

### 2.5.2. Tipos de heladas

#### Heladas por advección

Las heladas de advección se producen cuando el aire frío fluye en un área para reemplazar el aire más caliente que estaba presente antes del cambio meteorológico. Está asociada con condiciones de nubosidad, vientos de moderados a fuertes, sin inversión de temperatura y baja humedad (FAO, 2010). El aire frío reseca el follaje causando su muerte. Por lo tanto, los vientos son los causantes de los daños a las plantas. La helada de advección se puede presentar en cualquier hora del día, con independencia del estado del cielo. Tiene su origen en una invasión de aire frío, con una temperatura inferior al punto de congelación. El fenómeno se da en grandes extensiones (Carlos, 2010).

## **Heladas por radiación**

Ocurre en condiciones de baja humedad del aire, noches despejadas y escaso viento. En este caso, el calor del suelo se pierde hacia el espacio en forma de radiación. El suelo al perder calor, enfría más rápidamente la capa de aire en contacto con él, que aquellos ubicados a mayor altura, lo que se conoce como “inversión térmica” (Martínez *et al.*, 2007):

## **Heladas por evaporación**

Las heladas de evaporación se producen cuando el agua que recubre las plantas se evapora con mucha rapidez, lo que origina que la temperatura de éstas descienda notablemente. Las heladas de evaporación son frecuentes en las mañanas después de la salida del sol, cuando éste empieza a calentar con intensidad y se produce la evaporación rápida del rocío acumulado sobre los vegetales (Carlos, 2010).

Carlos (2010) e INAMHI (2011) teniendo en cuenta la apariencia de los cultivos expuestos a las bajas temperaturas del aire mencionan dos tipos de heladas: aquellas que van acompañadas de alta humedad, rocío y baja temperatura (conocidas como heladas blancas) y las que se presentan con un fuerte descenso de temperatura cuando el aire está muy seco (llamadas heladas negras).

## **Helada blanca**

La helada blanca ocurre cuando una masa húmeda invade una región determinada que tiene condiciones de buen tiempo, ocasionando un descenso pronunciado de la temperatura del aire y permitiendo la formación de hielo sobre la superficie de plantas y en objetos expuestos libremente a radiación nocturna. Este evento puede estar acompañado de otros fenómenos meteorológicos como pueden ser la niebla, neblina junto al suelo (rocío). El viento será de intensidad moderada, ocasionando un enfriamiento masivo del aire que en algunos casos pueden ser de gran escala (Carlos, 2010 e HINAMHI, 2011).

## **Helada negra**

Suceden cuando el aire del ambiente se encuentra excesivamente seco, no existe condensación ni formación de hielo sobre la superficie. A pesar de ello, los cultivos son dañados y posteriormente a este fenómeno la vegetación presenta una coloración negruzca. Generalmente las temperaturas durante el día (diurnas), son muy elevadas superiores a los 0 °C y durante la noche sufren un rápido enfriamiento, por lo que la energía o radiación acumulada durante el día se pierde bruscamente,

originado un pronunciado descenso de la temperatura. No existe presencia de viento, para que provoque mezcla de masas (Carlos, 2010 e HINAMHI, 2011).

En las Figuras 4 y 5 se muestran los daños que causan las heladas en el cultivo de papa.



**Figura 4. y 5. Daños por heladas**

**Fuente:** El autor.

## **2.6. Tipos de congelamiento**

Se describen dos tipos de congelamiento: extracelular e intracelular.

### **2.6.1. Congelamiento extracelular**

Artunduaga (1980), menciona que en condiciones naturales, en donde las plantas son sometidas a una disminución gradual de temperatura, este tipo de congelamiento es el usual. Puede o no causar daño a las plantas, depende de la temperatura de congelamiento. Consiste en la formación de hielo sobre la superficie de la célula o entre el protoplasma y la pared celular (extraplasmática). Al producirse este tipo de congelamiento el agua sale de las células hacia el espacio intercelular debido a un desequilibrio en el potencial hídrico entre las soluciones (deshidratación de la célula).

Inicialmente se creía que el daño por helada se producía por la ruptura de la membrana celular debido a la expansión del agua congelada dentro del citoplasma, pero hoy se conoce que la membrana se puede estirar si se expande el agua congelada (los tejidos no se rompen), el daño por helada es debido a la deshidratación de la célula, ya que la presión de vapor del agua celular es mayor que del hielo a la misma temperatura, razón por la cual el agua celular se difunde a través de

la membrana plasmática hacia el hielo extracelular. A medida que el congelamiento avanza, el hielo provoca contracción celular (debido a esta pérdida de agua).

### **2.6.2. Congelamiento intracelular**

Según Monteros (2000), el congelamiento intracelular (congelamiento interno de la célula), es muy raro que se presente en condiciones naturales, este tipo de congelamiento se produce por un congelamiento drástico y casi siempre es fatal para las plantas. El congelamiento intracelular produce la muerte de la célula probablemente por destrucción de biomembranas como resultado de un rápido crecimiento de cristales de hielo.

## **2.7. Factores ambientales que influyen en la intensidad de daño por helada**

Varios factores están asociados con la respuesta a las heladas (Murillo, 1977 y Grace, 1985) entre estos se encuentran:

### **2.7.1. Temperatura y tiempo de exposición a la helada**

En un cultivo puede haber más daño con una helada de -3 °C de 10 horas que una helada de -10 °C de 1 hora. Los daños son mayores luego de un periodo largo de congelamiento, que si el mismo congelamiento se realiza a intervalos cortos.

### **2.7.2. Velocidad de congelación y descongelación de los tejidos**

El congelamiento y descongelamiento lento causa menos daño a los tejidos que un cambio rápido de temperatura. Si la velocidad a la cual desciende la temperatura es lenta y permite el movimiento del agua hacia fuera del protoplasma, se alcanzan temperaturas bastante bajas sin que ocurra congelación intracelular, mientras mayor sea la cantidad de agua en el protoplasma, mayor será la posibilidad de formación de hielo intracelular, por eso, con descensos rápidos de temperatura que no facilitan la difusión del agua al exterior de la célula, las posibilidades de congelamiento son mayores.

### **2.7.3. Aclimatación de la planta**

Las plantas adquieren tolerancia a las heladas, una vez que hayan sido expuestas a bajas temperaturas, normalmente no congelantes de (10 a 0 °C). Las plantas desarrollan mecanismos de defensa que le permitirán defenderse con mayor ventaja de las próximas heladas.

## **2.8. Factores fisiológicos asociados a la resistencia a las heladas**

Mc Daniel (1986), sostiene que la principal respuesta fisiológica de las plantas a las heladas es la alteración en la permeabilidad de las membranas (produce una alteración en la estructura física de la membrana celular). Salisbury y Ross (1994) indican que la membrana celular se encuentra en condición líquida cristalina, en este estado las enzimas poseen una actividad óptica y con ello, su permeabilidad se encuentra bajo control. Pero cuando se está por debajo de la temperatura crítica, la membrana cambia a un estado de gel sólido, este cambio altera la permeabilidad de la membrana, dando origen de la perturbación que se observa en el balance de los solutos, acumulación de metabolitos, la salida de iones y otros solutos de la célula, si se deja que los metabolitos se acumulen y que los solutos se escapen en grandes cantidades la célula sufre daños o muere.

### **2.8.1. La presión osmótica**

Las plantas resistentes tienen una presión osmótica mucho más alta (Sukumaran y Weiser, 1972).

### **2.8.2. Lípidos**

Los glóbulos osmiofílicos de los lípidos celulares aumentan en los materiales resistentes (Chen *et al.*, 1977).

### **2.8.3. Genotipo**

La aclimatación al frío en plantas es un complejo proceso que involucra cambios en la expresión de numerosos genes sensibles al frío (COR). Esto resulta en modificación de la estructura celular, bioquímica y propiedades fotosintéticas de la planta, por lo tanto facilita en el incremento de la resistencia al estrés por frío. Factores reguladores influyen la expresión de genes COR y/o tolerancia al frío, estos han sido identificados durante la última década (Pino *et al.*, 2008)

#### **2.8.4. La recuperación posterior a las heladas**

Se han observado genotipos que tienen una capacidad considerable de recuperación a pesar de haber sufrido fuerte daño por el frío. Su origen es sin duda de tipo genético, pero el mecanismo de este fenómeno aún no se ha explicado (Estrada, 2000).

#### **2.8.5. Etapa fenológica de la planta**

Fairlie y Ortega (1995), mencionan que los estados fenológicos más susceptibles resultaron ser la emergencia y el inicio de la formación de estolones.

### **2.9. Factores morfológicos asociados a la resistencia a las heladas**

#### **2.9.1. El tejido de empalizada**

Estrada (2000) menciona que las especies resistentes tienen dos o más capas de empalizada en el tejido parenquimático y las susceptibles sólo tienen una capa.

#### **2.9.2. El índice estomático**

Palta y Li (1977), mencionan que las especies resistentes a heladas tienen 2-3 veces más número de estomas que las susceptibles.

### **2.10. Métodos de protección contra heladas**

Frente a la ocurrencia de heladas, hay dos métodos de trabajo para mitigar el daño en los cultivos: métodos pasivos y métodos activos según lo describen, Matías *et al.*, (2001) y Martínez *et al.*, (2007).

#### **2.10.1. Métodos pasivos**

##### **Selección del lugar a cultivar**

Generalmente las depresiones son más propensas al frío y al fenómeno de la helada, por lo que se recomienda, en la medida de lo posible, no sembrar en el fondo de los valles cerrados, laderas y cuencas, que constituyen cauces naturales del flujo o masas de aire frío. En tanto, los cerros, lomas



y montañas son sitios de dispersión del aire frío, que determinan condiciones poco favorables a la formación de las heladas (Matías *et al.*, 2001 y Martínez *et al.*, 2007).

### **Selección de variedades**

Este método constituye una de las técnicas más eficaces para prevenir el problema de las heladas. Consiste en elegir las variedades que en un clima y zona de cultivo determinada, tengan bajas probabilidades de efectos desfavorables producidos por heladas (Matías *et al.*, 2001 y Martínez *et al.*, 2007).

### **Época de siembra**

Para esto se deben sembrar los cultivos en periodo donde la máxima sensibilidad al frío no coincida con el de alto riesgo de helada (Matías *et al.*, 2001 y Martínez *et al.*, 2007)

### **Manejo de la fertilización**

Una nutrición adecuada permite tener plantas lo suficientemente fuertes para manifestar su resistencia a las bajas temperaturas. Además la concentración de sales que implica esta buena nutrición permite descender el punto de congelación del agua dentro de la planta (Matías *et al.*, 2001 y Martínez *et al.*, 2007).

### **Manejo de la humedad del suelo**

En general, la humedad del suelo afecta la capacidad calórica del suelo (capacidad de almacenar calor) y la velocidad de movimiento del calor, término denominado “conductividad térmica”. Un suelo con bajo contenido de humedad, posee una fracción importante del volumen ocupado con aire. El aire presenta baja capacidad calórica en comparación con el agua. Para mejorar este aspecto, se debe regar para ocupar gran parte del volumen de aire con agua. Por el día, la radiación del sol calienta el suelo y el calor se mueve por conducción en profundidad. Por la noche, al enfriarse la superficie del suelo, el calor asciende y se pierde hacia el espacio. La cantidad de calor almacenada en el suelo influye en la duración de la helada (Matías *et al.*, 2001 y Martínez *et al.*, 2007).

## **2.10.2. Métodos activos**

### **Uso de calefactores**

Calentamiento directo del aire y la planta (calentadores líquidos, calentadores sólidos, calentadores eléctricos). El calentamiento consiste en calentar el aire o medio ambiente de un cultivo momentos antes de que la temperatura sea crítica para las plantas. Una forma de compensar la pérdida de calor es quemando algún material en forma controlada. El aporte de calor debe ser efectuado a toda la superficie para lograr los efectos deseados (Matías *et al.*, 2001 y Martínez *et al.*, 2007).

### **Uso de cobertores**

La utilización de cobertores de polietileno térmico ayuda a los cultivos a protegerlos de las bajas temperaturas. Esta práctica es utilizada en la producción de hortalizas a través del uso de invernaderos y túneles (Matías *et al.*, 2001 y Martínez *et al.*, 2007).

### **Uso de ventiladores**

Los grandes ventiladores, así como los helicópteros, mezclan el aire de mayor temperatura que se encuentra a una altura de entre 10 y 20 metros sobre el suelo con el aire frío que está sobre la superficie de este último. Con ello se consigue elevar la temperatura del aire en contacto con el cultivo uno o dos grados, lo que puede ser suficiente para evitar daño por heladas (Matías *et al.*, 200, Martínez *et al.*, 2007 y FAO, 2010)

### **Uso de aspersores**

El calor latente que se libera cuando el agua pasa de estado líquido a sólido se utiliza como medio de protección ante la presencia de una helada. De este modo sistemas de riego controlados de forma automática mediante la presencia de sensores pueden ser útiles como medio de defensa de heladas. Cuando la temperatura desciende bajo los 0 °C el agua liberada forma una película de hielo alrededor de las hojas y ramas que proporciona la protección necesaria para mantener la temperatura alrededor de los 0 ° C. La cantidad de agua liberada por el sistema debe ser suficiente para compensar las pérdidas de energía por radiación, advección y por evaporación. Además la velocidad de rotación del aspersor debe ocurrir en menos de un minuto (Matías *et al.*, 200, Martínez *et al.*, 2007 y FAO, 2010).

### **2.11. Resistencia a la heladas**

El término “Resistencia”, se usa para indicar la habilidad de la planta para sobrevivir a condiciones de estrés debido a sequía, bajas temperaturas u otros factores adversos. Estrés se define como cualquier cambio en las condiciones ambientales que pudiera reducir o modificar perjudicialmente el crecimiento y desarrollo de una planta (Levitt, 1980).

Mujica y Jacobsen (1999), indican que los mecanismos de resistencia le permiten soportar el estrés a la planta debido a genes involucrados en el proceso de síntesis de proteínas y almidones o por genes acondicionadores, esta característica puede transmitirse a sus descendientes, y los mecanismos de tolerancia permiten a la planta tolerar o soportar el estrés por la facultad de recuperación debido a cambios temporales en el comportamiento de la misma.

### **2.12. Evasión**

La evasión consiste en el alejamiento en el tiempo o el espacio de algún órgano fundamental para la supervivencia, Bravo (1996), indica que la planta evita entrar en contacto directo de sus tejidos con las temperaturas bajas, es decir evita la formación de hielo en sus tejidos mediante la presencia de estructuras que aíslan a los órganos o fases de desarrollo sensibles, como la formación de yemas provistas de catáfilos que protegen a los tejidos meristemáticos y la capacidad de sobreenfriar (evita la formación de hielo en los tejidos).

### **2.13. Tolerancia a las heladas**

Lancer (1995) y Stone (1993) citados por Bravo (1996) mencionan que la tolerancia es un mecanismo por el cual la planta soporta la exposición a temperaturas congelantes, sin sufrir daños irreversibles. La tolerancia a la helada se ha relacionado con un conjunto de características metabólicas que serían responsables de la protección y mantención de la integridad de las estructuras celulares bajo el estrés de congelamiento. Entre ellos destacan la insaturación de lípidos de membrana, contenidos elevados de solutos compatibles o crioprotectores, síntesis de proteína crioprotectoras o anticongelantes, etc. todas estas características mantendrían la estabilidad metabólica y molecular de las células a bajas temperaturas. La tolerancia al congelamiento posee dos componentes:

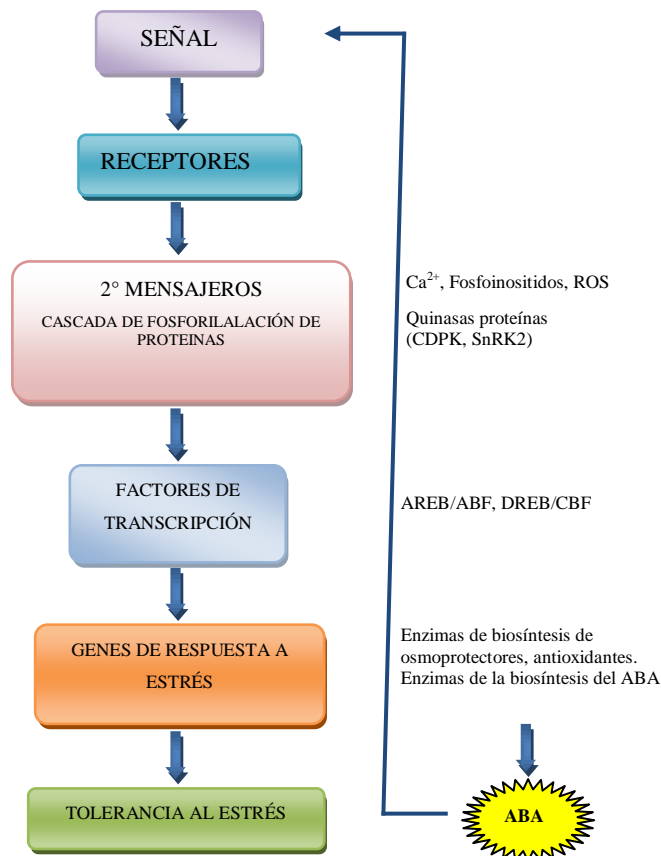
Constitutiva, que es aquella que posee una planta, es decir que está determinada genéticamente y es característica de cada especie o variedad, y la capacidad de aclimatación, es una tolerancia inducible, que solo se manifiesta una vez que la planta sea expuesta a bajas temperaturas,

normalmente no congelantes de (0 a 10 °C). La aclimatación al frío de una planta involucra modificaciones no heredables de estructuras y funciones como respuesta a bajas temperaturas no congelantes, las cuales tienden a minimizar el daño (Alberdi y Corcuera, 1991).

La mayor tolerancia a las heladas estaría relacionada con la acumulación de solutos compatibles, ácido abscísico (ABA), algunos lípidos constituyentes de biomembranas, proteínas solubles, inducción de genes y síntesis de proteínas específicas. Estos propenden a evitar la alteración de la permeabilidad de las biomembranas, causada por la deshidratación de la célula al formarse hielo extracelular (Levitt, 1980; Strauss y Houser, 1986 y Guy, 1990).

#### 2.14. Vías de señalización del estrés

La señal de estrés es percibida por sensores aún desconocidos que activan complejas cascadas de señalización intracelular, incluyendo la generación de segundos mensajeros y cascadas de fosfoproteínas. Las vías de señalización resultan en la activación de factores de transcripción y la expresión de genes de respuesta a estrés cuyos productos contribuyen directa o indirectamente a aumentar la tolerancia al estrés. En la Figura 6 se indica las vías de señalización del estrés.



**Figura 6.** Vías de señalización de estrés.

**Fuente:** Muñiz y Capiati, 2011.

La comprensión de los mecanismos moleculares a través de los cuales las plantas perciben el estrés y transducen (proceso por el que una célula convierte una determinada señal o estímulo exterior, en otra señal o respuesta específica) señal dentro de las células para generar respuestas adaptativas, es vital para diseñar estrategias que permitan mejorar la tolerancia al estrés de los cultivos. La vía de transducción de señales comienza con la percepción de la señal (a través de sensores aún no identificados) y continúa con la generación de segundos mensajeros como el calcio, fosfoinosítidos, especies reactivas del oxígeno (ROS) y la activación de cascadas de fosforilación de proteínas. Estas vías tienen como blanco final factores de transcripción que controlan la expresión de genes de respuesta al estrés. Los productos de estos genes contribuyen a proteger y reparar las células del daño causado por el estrés, o bien participan en la generación de moléculas regulatorias, principalmente el ácido abscísico (ABA) según lo mencionan Muñiz y Capiati (2011).

Frente al daño que sufren las células al estrés como se ha mencionado anteriormente se ha demostrado la activación de numerosas vías de transducción de señales en respuesta según menciona Nakashima *et al.*, (2009). El estrés se percibe primero a través de los receptores presentes en la membrana de las células (Lorenzo *et al.*, 2009). Las ROS (Radicales libres -RL:O<sub>2</sub>, OH, peroxilo, y moléculas que no son RL: oxígeno singlete y el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) se producen en mitocondrias, cloroplastos y peroxisomas (Apel y Hirt, 2004) durante los procesos de respiración y fotosíntesis bajo condiciones fisiológicas normales, y que se incrementa cuando la planta está expuesta a un ambiente desfavorable (Gill y Tuteja, 2010), son eliminados a través de una serie de complejos mecanismos antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos localizados en diferentes compartimentos celulares (Perl-Treves y Perl, 2002). Cuando el equilibrio entre la producción y eliminación de las ROS es perturbado se produce lo que se conoce como estrés oxidativo que provoca daño en membranas, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares llevando finalmente a la muerte celular o a la aparición de lesiones necróticas (Foyer y Noctor, 2005).

En relación al ABA es una hormona vegetal que cumple una importante función en la adaptación a la sequía, alta salinidad y frío, regulando la expresión de muchos genes involucrados en la tolerancia a la deshidratación de tejidos vegetativos y semillas (Kim, 2006; Hirayama y Shinozaki, 2010).

Diferentes genes de respuesta al estrés pueden ser categorizados en genes de inducción temprana y genes de inducción tardía. Los primeros son inducidos dentro de minutos de la percepción de la señal del estrés y con frecuencia se expresan de forma transiente (rápido). Varios factores de transcripción se incluyen entre este tipo de genes, pues su inducción no requiere la síntesis de nuevas proteínas. En contraste, la mayoría de los genes relacionados por el estrés se activan lentamente y su expresión es frecuentemente sostenida según lo menciona Mahajan y Tuteja

(2005). En los últimos años, la biotecnología ha logrado grandes avances en la producción de plantas tolerantes a diversos estreses abióticos (causados por condiciones ambientales adversas). En los comienzos, se utilizaron genes que codifican diferentes proteínas involucradas en la protección y reparación del daño celular, como enzimas de la biosíntesis de moléculas osmoprotectoras, lográndose buenos resultados (Wang *et al.*, 2003). Sin embargo, el uso de genes reguladores, como los factores de transcripción, parece ser un enfoque más efectivo en la producción de plantas tolerantes al estrés, ya que un solo gen regulador puede alterar la expresión de un gran número de genes que cumplen funciones de protección y reparación, generando una respuesta mucho más amplia y eficaz (Bhatnagar-Mathur *et al.*, 2008).

También podemos hablar de factores de transcripción (FT) que se consideran esenciales para los patrones de expresión espacial y temporal de numerosos genes. Estas proteínas se caracterizan por su capacidad para unirse a secuencias reguladoras particulares en los genes que controlan para activar o desactivar su expresión. Poseen un motivo estructural característico, el dominio de unión al ADN, el que participa en el reconocimiento a una pequeña secuencia de ADN (usualmente entre 4-8 pb). En base a la estructura del dominio de unión al ADN, los FT en plantas, se clasifican entre 50 y 60 familias, y constituyen entre un 5 y un 7 % de los genes que codifican proteínas (Gray *et al.*, 2009). En el genoma de *Arabidopsis*, por ejemplo, alrededor del 5,9 % codifica para más de 1500 FT según (Nakashima *et al.*, 2009). Las proteínas DREB/CBF son factores de transcripción de tipo AP2/ERF de plantas que inducen un conjunto de genes de respuesta a estrés abiótico. Cumplen una importante función en las vías de señalización independientes de ABA (Hirayama y Shinozaki, 2010). Estos factores de transcripción se dividen en dos subgrupos: DREB1/CBF y DREB2. La expresión de los genes DREB1/CBF (DREB1B/CBF1, DREB1A/CBF3 y DREB1C/CBF2 en *Arabidopsis*) es inducida por frío, mientras que la expresión de los genes DREB2 (DREB2A y DREB2B en *Arabidopsis*) es inducida por estrés hídrico (Liu *et al.*, 1998); sin embargo, las proteínas de ambos subgrupos se unen al elemento de respuesta DRE/CRT (dehydration-responsive element/C-repeat), indicando la existencia de un entrecruzamiento entre la expresión de genes inducida por frío y sequía, a través del elemento DRE/CRT (Yamaguchi-Shinozaki y Shinozaki 2005). Por este motivo, ambos subgrupos han sido útiles para incrementar la tolerancia tanto a la sequía como al frío. Genes homólogos a DREB1 y DREB2 han sido identificados en varias especies de interés agronómico (Nakashima, 2009). El análisis transcriptómico demostró que aproximadamente 30 genes son inducidos en respuesta a la sobre-expresión de DREB1B/CBF1, DREB1A/CBF3 o DREB1C/CBF2 (Fowler y Thomashow, 2002). La sobre-expresión del gen DREB1A es una estrategia muy utilizada, con ello se ha logrado activar la expresión de numerosos genes de respuesta a estrés dando como resultado plantas más tolerantes al frío y al estrés hídrico (Kasuga *et al.*, 1999). DREB1A ha demostrado ser efectivo en numerosas especies. La sobre-expresión del DREB1A/CBF3 de *Arabidopsis* en papa, tabaco, trigo y arroz

incrementó la tolerancia a la sequía (Behnam *et al.*, 2006; Kasuga *et al.*, 2004 y Oh SJ *et al.*, 2005). También los genes DREB de otras especies han mostrado ser eficientes. Por ejemplo, plantas de arroz que sobreexpresan el gen DREB1A propio resultaron más tolerantes al estrés hídrico y al frío (Ito *et al.*, 2006).

También se puede mencionar a los reguladores de crecimiento como las poliaminas que están involucradas en una amplia gama de procesos fisiológicos que van desde el crecimiento y desarrollo vegetal hasta la protección contra el estrés biótico y abiótico (Guye *et al.*, 1986; Evans y Malmberg, 1989; Faust y Wang, 1992; Bais y Ravishankar, 2002). Según Romero y Rodríguez (1996) al estudiar la acción de las poliaminas en la protección de papa criolla (*Solanum phureja* ev. "Yema de Huevo") frente a las heladas observaron que las poliaminas evitaron o disminuyeron los daños que causan las bajas temperaturas en la semipermeabilidad y fluidez de la membrana y los cambios en el pH celular por estrés hídrico y osmótico, esto debido a que en la membrana celular, las poliaminas se unen a los fosfolípidos y a sitios aniónicos, alterando su permeabilidad y fluidez, por lo tanto, modulan indirectamente la actividad de las enzimas asociadas con la membrana (Galston y Kaur-Shawney, 1987) y ejercen una función de protección contra el estrés (Evans y Malmberg, 1989).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

El presente experimento se realizó en invernadero ubicado en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP.

##### 3.1.1. Características del lugar

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Provincia	Pichincha
Cantón	Mejía
Parroquia	Cutuglahua
Altitud	3058 msnm
Longitud	78°33' O
Latitud	00°22' S
Temperatura promedio/día	15.8 °C
Temperatura máxima promedio/día	22.6 °C
Temperatura mínima promedio/día	6.8 °C
Humedad relativa promedio/día	76.3 %
Precipitación promedio/año	1 432 mm/año

**Fuente:** Estación Meteorológica Izobamba, ubicada en la EESC-INIAP, 2011.

##### 3.1.2. Características de temperatura y humedad del invernadero

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	DESCRIPCIÓN
Temperatura máxima promedio	28.0 °C
Temperatura mínima promedio	7.0 °C
Humedad relativa	70-90 %

**Fuente:** PNRT- papa, 2011.

##### 3.1.3. Características ambientales del fitotrón

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	DESCRIPCIÓN
Temperatura máxima	80 °C
Temperatura mínima	-10 °C
Humedad relativa	0 - 90 %
Luz blanca	80 lúmenes
Luz alógena	100 lúmenes

**Fuente:** Datos tomados del fitotrón, 2011.

##### 3.1.4. Características ambientales del fitotrón para el experimento.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	DESCRIPCIÓN
Temperaturas bajas	3 °C, 0 °C y -3 °C
Humedad relativa	60 %

**Fuente:** Datos tomados en el fitotrón, 2011.



### **3.2. Materiales y equipos**

#### **3.2.1. Material biológico**

Se utilizó tubérculo-semilla de 60 a 80 g de peso.

- Variedades nativas (10)
- Variedades mejoradas (8)
- Clones promisorios (12)

#### **3.2.2. Materiales y equipos de invernadero**

- Invernadero
- Macetas
- Medidor de clorofila SPAD -502 Plus (Anexo 1)
- Fitotrón. EIE International (Anexo 2)
- Estufa
- Bomba de mochila
- Fertilizantes
- Fungicidas y pesticidas
- Letreros
- Fundas de papel y plásticas
- Sustrato
- Bandejas plásticas
- Cámara fotográfica
- Papel absorbente
- Balanza analítica
- Agua destilada

#### **3.2.3. Materiales y equipos de oficina**

- Calculadora
- Computador
- Libro de campo

### 3.3. Factores en estudio

La presente investigación comprendió dos factores en estudio, genotipos de papa (Cuadro 1) y tres temperaturas (Cuadro 2).

- **Genotipos de papa (G)**

**Cuadro 1.** Genotipos de papa para evaluar la respuesta a bajas temperaturas, bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

<b>NOMBRES</b>
<b>Variedades nativas</b>
Carrizo
Yana papa
Wagra singa
Chaucha amarilla alargada
Tushpa
Uvilla
Dolores
Violeta
Coneja blanca
Súper violeta
<b>Variedades mejoradas</b>
Superchola
INIAP - Puca Shungo
INIAP - Yana Shungo
INIAP – Pan
INIAP - Estela
INIAP – Fripapa
INIAP - Natividad
INIAP- Victoria
<b>Clones Promisorios</b>
98-11-6
05-15-1
97-25-3
98-2-6
99-99-2
00-24-1
00-23-3
05-32-6
05-22-11
399062-115
399075-26
399079-23

**Fuente:** INIAP, 2011.

- **Temperaturas (T)**

Las temperaturas seleccionadas para esta investigación Cuadro 2 se determinaron con base en datos reportados por el INAMHI en el 2011 (temperaturas promedio de heladas en Ecuador -1.0 a -2.2 °C) y de trabajos realizados por Lyons en 1973 (la planta de papa empieza a mostrar síntomas de daño por debajo de los 4 °C).

**Cuadro 2.** Temperaturas para evaluar la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.) bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

TEMPERATURAS
3 °C
0 °C
-3 °C

### 3.4. Tratamientos

**Cuadro 3.** Tratamientos para evaluar la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.) bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

TRAT	INTERPRETACIÓN	TRAT	INTERPRETACIÓN
t1	Carrizo x (3 °C)	t46	INIAP - Fripapa x (3 °C)
t2	Carrizo x (0 °C)	t47	INIAP - Fripapa x (0 °C)
t3	Carrizo x (-3 °C)	t48	INIAP - Fripapa x (-3 °C)
t4	Yana papa x (3 °C)	t49	INIAP - Natividad x (3 °C)
t5	Yana papa x (0 °C)	t50	INIAP - Natividad x (0 °C)
t6	Yana papa x (-3 °C)	t51	INIAP - Natividad x (-3 °C)
t7	Wagra singa x (3 °C)	t52	INIAP - Victoria x (3 °C)
t8	Wagra singa x (0 °C)	t53	INIAP - Victoria x (0 °C)
t9	Wagra singa x (-3 °C)	t54	INIAP - Victoria x (-3 °C)
t10	Chauca amarilla alargada x (3 °C)	t55	98-11-6 x (3 °C)
t11	Chauca amarilla alargada x (0 °C)	t56	98-11-6 x (0 °C)
t12	Chauca amarilla alargada x (-3 °C)	t57	98-11-6 x (-3 °C)
t13	Tushpa x (3 °C)	t58	05-15-1 x (3 °C)
t14	Tushpa x (0 °C)	t59	05-15-1 x (0 °C)
t15	Tushpa x (-3 °C)	t60	05-15-1 x (-3 °C)
t16	Uvilla x (3 °C)	t61	(97-25-3) x (3 °C)
t17	Uvilla x (0 °C)	t62	(97-25-3) x (0 °C)
t18	Uvilla x (-3 °C)	t63	(97-25-3) x (-3 °C)
t19	Dolores x (3 °C)	t64	(98-2-6) x (3 °C)
t20	Dolores x (0 °C)	t65	(98-2-6) x (0 °C)
t21	Dolores x (-3 °C)	t66	(98-2-6) x (-3 °C)
t22	Violeta x (3 °C)	t67	(99-99-2) x (3 °C)
t23	Violeta x (0 °C)	t68	(99-99-2) x (0 °C)
t24	Violeta x (-3 °C)	t69	(99-99-2) x (-3 °C)
t25	Coneja blanca x (3 °C)	t70	(00-24-1) x (3 °C)
t26	Coneja blanca x (0 °C)	t71	(00-24-1) x (0 °C)
t27	Coneja blanca x (-3 °C)	t72	(00-24-1) x (-3 °C)
t28	Súper violeta x (3 °C)	t73	(00-23-3) x (3 °C)
t29	Súper violeta x (0 °C)	t74	(00-23-3) x (0 °C)
t30	Súper violeta x (-3 °C)	t75	(00-23-3) x (-3 °C)
t31	Superchola x (3 °C)	t76	(05-32-6) x (3 °C)
t32	Superchola x (0 °C)	t77	(05-32-6) x (0 °C)
t33	Superchola x (-3 °C)	t78	(05-32-6) x (-3 °C)
t34	INIAP - Puca Shungo x (3 °C)	t79	(05-22-11) x (3 °C)
t35	INIAP - Puca Shungo x (0 °C)	t80	(05-22-11) x (0 °C)
t36	INIAP - Puca Shungo x (-3 °C)	t81	(05-22-11) x (-3 °C)
t37	INIAP - Yana Shungo x (3 °C)	t82	(399062-115) x (3 °C)
t38	INIAP - Yana Shungo x (0 °C)	t83	(399062-115) x (0 °C)
t39	INIAP - Yana Shungo x (-3 °C)	t84	(399062-115) x (-3 °C)
t40	INIAP - Pan x (3 °C)	t85	(399075-26) x (3 °C)
t41	INIAP - Pan x (0 °C)	t86	(399075-26) x (0 °C)
t42	INIAP - Pan x (-3 °C)	t87	(399075-26) x (-3 °C)
t43	INIAP - Estela x (3 °C)	t88	(399079-23) x (3 °C)
t44	INIAP - Estela x (0 °C)	t89	(399079-23) x (0 °C)
t45	INIAP - Estela x (-3 °C)	t90	(399079-23) x (-3 °C)

### 3.5. Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar, con un arreglo factorial 30 x 3 con cinco observaciones.

### 3.6. Unidad experimental

La unidad experimental estuvo representada por una planta de papa en estado de prefloración, cultivada en una maceta de 1.0 kg de capacidad.

### 3.7. Esquema del análisis estadístico

**Cuadro 4.** Esquema del análisis de la varianza para evaluar genotipos, temperaturas y tratamientos. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

<b>Fuentes de variación</b>	<b>GL</b>	
TOTAL	269	
GENOTIPOS (g)	(29)	
Nativas		9
Mejoradas		7
Clones		11
Nativas vs Mejoradas		1
Clones vs Nativas y Mejoradas		1
TEMPERATURAS (t)	(2)	
(3 °C) vs (0 °C)(-3 °C)		1
(0 °C) vs (-3 °C)		1
GXT	58	
ERROR EXP	180	
<b>Promedio</b>		
<b>CV</b>		

#### 3.7.1. Análisis funcional

Se realizó la prueba de Tukey al 5 % para los factores en estudio que presentaron significancia estadística. Además, se realizó la correlación de Pearson al 5 % entre las variables para medir su grado de asociación.

### 3.8. Variables y métodos de evaluación

Las variables evaluadas en el presente ensayo fueron:

### 3.8.1. Contenido de clorofila

Se tomaron dos lecturas por planta durante el ciclo de cultivo, con un medidor de clorofila (Minolta® SPAD 502 Plus), la primera 10 días antes de someter las plantas a estrés por baja temperatura y la segunda 10 días después, en hojas jóvenes completamente expandidas, las lecturas se expresaron en Unidades SPAD (Chlorophyll Content Meter, 2009).

### 3.8.2. Nivel de daño por helada

Esta variable se determinó 8 días después de sometidas las plantas a estrés por bajas temperaturas y se calificó visualmente según la siguiente escala (Vega y Bamberg 1995).

Grado	Daño por helada
0	Sin daños visibles
1	Ligero bronceado en el foliolo superior
2	Unos pocos foliolos superiores muertos
3	Muchos foliolos superiores muertos
4	Muchas hojas muertas
5	Todas las hojas y peciolo muertos
6	Todas las hojas y tallos muertos (planta entera)

### 3.8.3. Contenido relativo de agua en las hojas (CRA)

Se tomó un foliolo del tercio superior de la planta, se pesó la muestra en fresco, después se hidrató el foliolo en una bandeja con agua destilada durante 12 horas en oscuridad y posteriormente se tomó el peso turgente, luego la muestra se colocó en una estufa por 48 horas a 65 °C hasta obtener un peso constante, y finalmente se procedió a tomar el peso seco (Ekanayake, 1993). El CRA se expresó en porcentaje.

$$\begin{aligned} \text{PF} &= \text{Peso Fresco} \\ \text{PS} &= \text{Peso Seco} \\ \text{PT} &= \text{Peso Turgente} \end{aligned} \quad \text{CRA (\%)} = \left[ \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} \right] * 100$$

### 3.9. Selección de genotipos

La selección de genotipos se realizó después de la tabulación y análisis de datos tomados en las unidades experimentales, teniendo en consideración los genotipos que presentaron el menor nivel de daño (Grado 0 y 1) frente al estrés sufrido por las bajas temperaturas. El contenido de clorofila y el contenido relativo de agua en las hojas no tienen correlación con el daño presentado por las plantas a las bajas temperaturas, por lo que para la selección no consideró estas variables.

### **3.10. Manejo específico del experimento**

#### **3.10.1. Selección de genotipos para la evaluación**

Para el ensayo se seleccionaron treinta genotipos de papa, de los cuales 10 son variedades nativas, 8 variedades mejoradas y 12 clones promisorios (Cuadro 1). Las variedades nativas se seleccionaron debido a que son genotipo que se desarrollan en condiciones ambientes extremas, como las temperaturas bajas y la sequía, por lo tanto es importante saber si son fuente de resistencia para heladas, las variedades mejoradas presentan buenas características de rendimientos y calidad agroindustrial a más de ser de reciente liberación como variedades, los clones también presentan buenos rendimientos y resistencia y/o tolerancia a Lancha (*Phytophthora infestans*) (Anexo 4), por ser otro factor de riesgo en el cultivo. Con la presente investigación se pretende en un futuro obtener variedades que presenten resistencia a las heladas manteniendo las características mencionadas para cada genotipo.

#### **3.10.2. Sustrato para las macetas**

Para la siembra se utilizó una mezcla de 3 partes de suelo negro, 1 parte de pomina y 1 parte de humus que se esterilizó para evitar problemas causados por patógenos de suelo (hongos, bacteria), insectos y semillas de malezas.

#### **3.10.3. Siembra**

Para la siembra se utilizó tubérculo-semilla (60-80 g) en estado de brotación múltiple, previamente desinfestada en una solución de 40 ml de Profenofos en 20 litros de agua. La siembra se realizó en macetas colocando en cada una un tubérculo a una profundidad de (5 a 10 cm) que no esté visible para uniformizar la germinación.

#### **3.10.4. Riego**

El riego se realizó directamente al suelo en las macetas para evitar problemas fitosanitarios en las hojas, manteniendo el sustrato a capacidad de campo, tres días antes de exponer las plantas a las bajas temperaturas se suspendió el riego para evitar que el suelo permanezca húmedo durante la exposición, debido a que este factor es un método de control de heladas. Conociendo que varios genotipos no resisten la falta de agua se regó hasta un día antes y para evitar que la humedad influya al momento de la evaluación, se cubrieron las macetas con plástico.

### **3.10.5. Fertilización**

Según los resultados reportados en el análisis del sustrato (Anexo 3) los niveles de macro y micro nutrientes se encontraban altos por lo que no se requirió fertilizar para suplir, los requerimientos de la planta para iniciar su desarrollo.

### **3.10.6. Controles fitosanitarios**

Para el control de oidio (*Erysiphe cichoracearum*) se realizaron dos aplicaciones de fungicida con Penconazol en dosis de 0.5 cm<sup>3</sup>/l de agua; se hizo una aplicación para el control de Mosca blanca *Bemisia* sp. con Acefato en dosis de 1 cm<sup>3</sup>/l de agua y para el control de pulgón (*Mysus persicae* Sulz) se aplicó Profenofos en dosis de 1.5 cm<sup>3</sup>/l de agua.

### **3.10.7. Fitotrón**

Para la exposición a las bajas temperaturas, luego de 60 días de la siembra las plantas se distribuyeron dentro del fitotrón (EIE International) (Anexo 2) en las condiciones de temperatura establecidas en el Cuadro 2, por un periodo de 3 horas (Estrada, 2000), a una humedad relativa del 60 % según Monteros (2000) quién menciona que con este porcentaje de humedad y baja temperatura se presenta mayor nivel de daño en las plantas que a una baja temperatura con alta humedad (90 %).

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Contenido de Clorofila**

#### **Contenido de Clorofila 10 días antes**

El Análisis de la Varianza para la variable Contenido de Clorofila, Cuadro 5, determinó diferencias altamente significativas para genotipos, variedades nativas, clones, la comparación nativas vs mejoradas, significación estadística para variedades mejoradas y ninguna significancia para temperaturas, la interacción genotipo por temperatura, comparaciones clones vs nativas y mejoradas; (3 °C) vs (0 °C) (-3 °C) y (0 °C) vs (-3 °C). El promedio general fue de 46.40 Unidades SPAD (uSP) y el coeficiente de variación fue de 10.70 %.

La Prueba de Tukey al 5 % para genotipos, Cuadro 6, estableció cinco rangos de significación. En el primer rango se ubicó el clon 98-2-6 con 50.72 uSP; en tanto que, en el último rango con el menor promedio se ubicó la variedad nativa Violeta con 40.67 uSP.

#### **Contenido de Clorofila 10 días después**

El Análisis de la Varianza para la variable Contenido de Clorofila, Cuadro 5, estableció diferencias altamente significativas para todos los factores y sus interacciones con excepción de la comparación (3 °C) vs (0 °C) (-3 °C), y ninguna significancia estadística para la interacción genotipo por temperatura. El promedio general fue de 37.49 uSP y el coeficientes de variación fue de 9.62 %.

La prueba de Tukey al 5 % para genotipos, Cuadro 6, determinó doce rangos de significación. En el primer rango se ubicó la variedad nativa Wagra Singa con 42.31 uSP; en tanto que, en último rango se ubicó la variedad nativa Violeta con 31.95 uSP.

La prueba de Tukey al 5 % para temperaturas, Cuadro 7, detectó dos rangos de significación. En el primer rango se ubicó (-3 °C) con un promedio de 38.85 uSP y en el último rango (0 °C) con 36.70 uSP.



**Cuadro 5.** Análisis de la varianza para contenido de clorofila 10 días antes y 10 días después de exponer a bajas temperaturas 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

FUENTES DE VARIACIÓN	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS	
		Antes	Después
TOTAL	449		
GENOTIPOS (G)	(29)	132.71**	124.74**
Nativas	9	152.08**	204.73**
Mejoradas	7	82.80*	57.75**
Clones	11	110.92**	57.47**
Nativas vs Mejoradas	1	675.32**	410.24**
Clones vs Nativas y Mejoradas	1	16.15ns	380.21**
TEMPERATURAS (T)	(2)	15.52ns	211.59**
(3 °C) vs (0 °C)(-3 °C)	1	0.74ns	75.65*
(0 °C) vs (-3 °C)	1	30.31ns	347.53**
GxT	58	17.26ns	15.82ns
ERROR EXPERIMENTAL	360	24.67	13.02
<b>Promedio (Unidades SPAD)</b>		46.40	37.49
<b>CV (%)</b>		10.70	9.62

La clorofila es importante en la planta para realizar la fotosíntesis y reviste la mayor relevancia dado que se utilizan para la síntesis de glucosa a partir de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, con liberación de O<sub>2</sub> y en etapa de plántula es fundamental dada la alta demanda de carbohidratos para el crecimiento y desarrollo de la planta completa (Bidwell, 2002).

El contenido de clorofila presentó variación en todos los genotipos estudiados, independientemente del daño que pueden llegar a sufrir (Cuadro 6); Ortega (2002) al estudiar el uso del clorofilómetro SPAD-502 para diagnosticar la deficiencia de nitrógeno en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) indica que las mediciones SPAD pueden ser alteradas por factores genéticos, las variedades o híbridos pueden tener por definición genética, distintos tonos de verdes.

Una vez expuestas las plantas a bajas temperaturas se puede determinar que su contenido de clorofila se reduce y de igual manera varía de un genotipo a otro (Cuadro 6 y Gráfico 1). Además el contenido de clorofila puede ser afectado por factores ambientales como: temperatura, humedad, luminosidad y tipo de suelo que influyen en el verdor de las hojas dependiendo de la especie (Ortega, 2002). Los factores de estrés como: estrés hídrico, presencia de enfermedades y deficiencias nutricionales también pueden afectar los valores SPAD, produciendo pérdida de las características semipermeables de la membrana celular, la cual ocasiona flacidez, marchitamiento de las hojas y decoloración debido a la destrucción de los cloroplastos según estudios realizados por Steponkus (1984); Margalef (1974), en su manual sobre ecología; y Gracia (1983), al estudiar la clorofila en encinares (árbol de la familia de las fagáceas) en España.

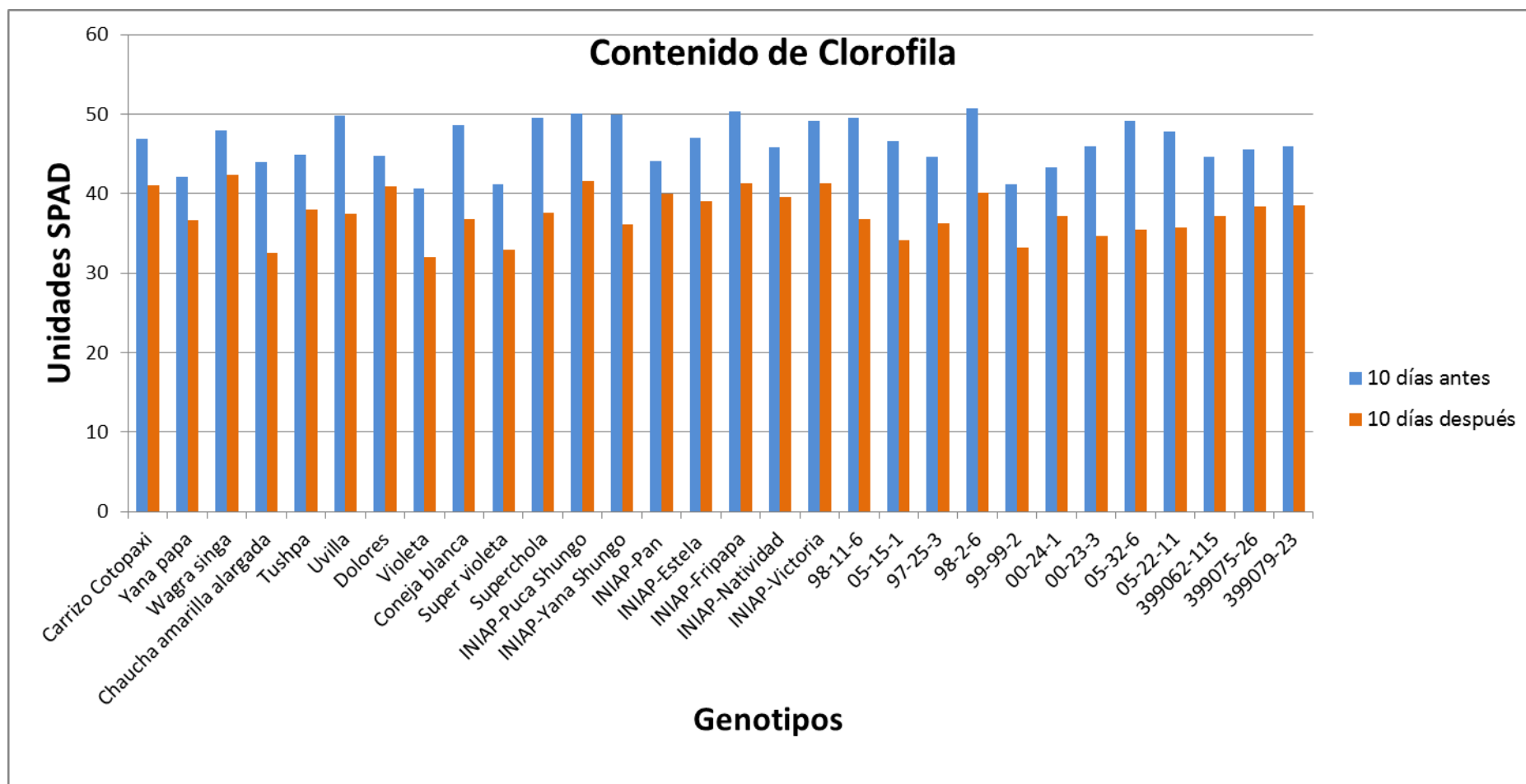
**Cuadro 6.** Prueba de Tukey al 5 % para contenido de clorofila 10 días antes y 10 días después de exponer a bajas temperaturas 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

<b>CONTENIDO DE CLOROFILA</b>		
<b>Unidades SPAD</b>		
<b>GENOTIPOS</b>	<b>10 DÍAS ANTES*</b>	<b>10 DÍAS DESPUÉS*</b>
Carrizo Cotopaxi	46.84 a-e	41.09 a-d
Yana papa	42.04 d-e	36.66 b-l
Wagra singa	47.89 a-d	42.31 a
Chaucha amarilla alargada	43.96 b-e	32.54 k-l
Tushpa	44.93 a-e	38.04 a-j
Uvilla	49.84 a-c	37.50 a-k
Dolores	44.72 a-e	40.88 a-e
Violeta	40.67 e	31.95 l
Coneja blanca	48.61 a-d	36.85 b-l
Súper violeta	41.20 e	32.99 j-l
Superchola	49.52 a-c	37.58 a-k
INIAP-Puca Shungo	50.12 a-b	41.62 a-b
INIAP-Yana Shungo	49.97 a-b	36.06 d-l
INIAP-Pan	44.02 b-e	39.96 a-f
INIAP-Estela	47.00 a-e	39.08 a-h
INIAP-Fripapa	50.38 a-b	41.33 a-c
INIAP-Natividad	45.85 a-e	39.61 a-g
INIAP-Victoria	49.14 a-c	41.27 a-c
98-11-6	49.54 a-c	36.73 b-l
05-15-1	46.57 a-e	34.08 h-l
97-25-3	44.66 a-e	36.19 c-l
98-2-6	50.72 a	40.05 a-f
99-99-2	41.17 e	33.23 i-l
00-24-1	43.24 c-e	37.20 a-k
00-23-3	45.97 a-e	34.72 g-l
05-32-6	49.11 a-c	35.49 f-l
05-22-11	47.87 a-e	35.70 e-l
399062-115	44.67 a-e	37.14 a-l
399075-26	45.49 a-e	38.33 a-i
399079-23	45.88 a-e	38.45 a-h

\* Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos, según Tukey al 5 %.

**Cuadro 7.** Prueba de Tukey al 5 % para temperaturas 10 días después en el estudio de la respuesta de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

<b>TEMPERATURAS</b>	<b>10 DÍAS DESPUÉS</b>
3°C	36.91 b
0°C	36.70 b
-3°C	38.85 a



**Gráfico 1.** Contenido de clorofila 10 días antes y 10 días después de exponer a bajas temperaturas 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

#### 4.2. Contenido relativo de agua (CRA)

El Análisis de la Varianza para la variable Contenido Relativo de Agua (CRA), Cuadro 8, estableció diferencias altamente significativas para genotipos y variedades nativas, significancia estadística para la interacción genotipo por temperatura y ninguna significancia estadística para el resto de factores y sus interacciones. El promedio general fue de 71.54 % de CRA y el coeficiente de variación fue de 9.61 %.

La prueba de Tukey al 5 % para genotipos, Cuadro 9, determinó tres rangos de significación. En el primer rango se ubicó la variedad nativa Uvilla con 76.01 % de CRA; en tanto que, en el último rango con el menor promedio se ubicó la variedad nativa Carrizo Cotopaxi con 61.50 % de CRA.

La prueba de Tukey al 5 % para interacción genotipo por temperatura, Cuadro 10, detectó dos rangos de significación. Encabezando el primer rango, Superchola x (-3 °C) con 80.59 % de CRA; en tanto que en el último rango con el menor promedio se ubicó Carrizo Cotopaxi x (3 °C) con 50.64 % de CRA.

**Cuadro 8.** Análisis de la varianza para contenido relativo de agua en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

FUENTES DE VARIACIÓN	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS
TOTAL	449	
GENOTIPOS (G)	(29)	131.26**
Nativas	9	265.64**
Mejoradas	7	87.93ns
Clones	11	64.81ns
Nativas vs Mejoradas	1	55.09ns
Clones vs Nativas y Mejoradas	1	26.47ns
TEMPERATURAS (T)	(2)	42.93ns
(3 °C) vs (0 °C)(-3 °C)	1	11.56ns
(0 °C) vs (-3 °C)	1	74.3ns
GxT	58	64.98*
ERROR EXP	360	47.26
<b>Promedio (% de CRA)</b>		71.54
<b>CV (%)</b>		9.61

**Cuadro 9.** Prueba de Tukey al 5 % para contenido relativo de agua en la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

CONTENIDO RELATIVO DE AGUA	
GENOTIPOS	%*
Carrizo Cotopaxi	61.50 c
Yana papa	72.64 a-b
Wagra singa	71.27 a-b
Chaucha amarilla alargada	70.99 a-c
Tushpa	73.52 a-b
Uvilla	76.01 a
Dolores	66.11 b-c
Violeta	71.10 a-c
Coneja blanca	71.78 a-b
Súper violeta	74.25 a-b
Superchola	74.05 a-b
INIAP-Puca Shungo	71.23 a-b
INIAP-Yana Shungo	68.17 a-c
INIAP-Pan	74.49 a-b
INIAP-Estela	68.91 a-c
INIAP-Fripapa	72.77 a-b
INIAP-Natividad	70.91 a-c
INIAP-Victoria	74.07 a-b
98-11-6	73.69 a-b
05-15-1	69.31 a-c
97-25-3	73.54 a-b
98-2-6	69.96 a-c
99-99-2	70.24 a-c
00-24-1	69.31 a-c
00-23-3	70.78 a-c
05-32-6	71.65 a-b
05-22-11	72.28 a-b
399062-115	75.98 a
399075-26	73.80 a-b
399079-23	71.84 a-b

\* Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos, según Tukey al 5 %.

Entre los genotipos, los que presentaron menor valor de CRA sufrieron más daño que los que tuvieron mayor valor, estos resultados no concuerdan con lo mencionado por Murillo (1977) quien determinó que mientras mayor es la cantidad de agua en el protoplasma mayor es la posibilidad de formación de hielo y muerte de las células. Por otro lado Johnson *et al.*, (1984); Martin y Ruiz-Torres (1992), mencionan que el CRA no puede estar asociado con la resistencia al estrés por bajas temperaturas.

**Cuadro 10.** Prueba de Tukey al 5 % para la interacción genotipo x temperatura en 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

CONTENIDO RELATIVO DE AGUA			
	%		
GENOTIPOS	3 °C*	0 °C*	-3 °C*
Carrizo Cotopaxi	50.64 b	66.33 a-b	67.55 a-b
Yana papa	76.31 a	70.14 a	71.47 a
Wagra singa	72.95 a	71.91 a	68.94 a-b
Chaucha amarilla alargada	68.37 a-b	71.27 a	73.32 a
Tushpa	76.08 a	73.90 a	70.57 a
Uvilla	75.01 a	76.28 a	76.73 a
Dolores	64.92 a-b	68.14 a-b	65.26 a-b
Violeta	63.55 a-b	74.91 a	74.83 a
Coneja blanca	69.56 a	70.06 a	75.71 a
Súper violeta	73.82 a	74.46 a	74.47 a
Superchola	72.68 a	68.89 a-b	80.59 a
INIAP-Puca Shungo	70.23 a	73.89 a	69.56 a
INIAP-Yana Shungo	67.70 a -b	69.15 a-b	67.67 a-b
INIAP-Pan	72.03 a	76.87 a	74.58 a
INIAP-Estela	68.35 a-b	68.79 a-b	69.59 a
INIAP-Fripapa	74.32 a	71.32 a	72.66 a
INIAP-Natividad	70.19 a	68.78 a-b	73.75 a
INIAP-Victoria	74.90 a	74.01 a	73.28 a
98-11-6	74.51 a	72.21 a	74.35 a
05-15-1	72.63 a	63.90 a-b	71.40 a
97-25-3	76.26 a	74.36 a	70.01 a
98-2-6	71.18 a	68.85 a-b	69.86 a
99-99-2	76.07 a	62.72 a-b	71.93 a
00-24-1	70.79 a	68.13 a-b	69.02 a-b
00-23-3	68.52 a-b	73.89 a	69.92 a
05-32-6	76.18 a	68.72 a-b	70.05 a
05-22-11	73.93 a	72.00 a	70.92 a
399062-115	75.50 a	78.32 a	74.11 a
399075-26	75.72 a	70.14 a	75.54 a
399079-23	66.43 a-b	72.28 a	76.82 a

\* Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos, según Tukey al 5 %.

#### 4.3. Nivel de Daño

El Análisis de la Varianza para la variable Nivel de daño, Cuadro 11, mostró diferencias altamente significativas para todos los factores y sus interacciones. El promedio general fue de 3.72 y el coeficientes de variación fue de 3.80 %.

La prueba de Tukey al 5 % para interacción genotipo por temperatura, Cuadro 14, determinó nueve rangos de significación. En el primer rango, con el menor nivel de daño, (grado 0) se ubicó Tushpa x (3 °C) y al final, en el último rango, con el mayor nivel de daño, (grado 6) se ubicó Chaucha amarilla alargada x (-3 °C).

La prueba de Tukey al 5 % para genotipos, Cuadro 12, estableció nueve rangos de significación. En el primer rango, con el menor nivel de daño (grado 0), se encontró el clon 97-25-3, mientras que en el último rango, con el mayor nivel de daño (grado 6), se ubicó el clon 399075-26.

La prueba de Tukey al 5 % para temperaturas, Cuadro 13, determinó tres rangos de significación, donde la menor respuesta presentó (3 °C) con un nivel de daño grados 3 de promedio, comparado con (0 °C) que presentó un nivel de daño grados 5 de promedio

**Cuadro 11.** Análisis de la varianza para nivel de daño en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

FUENTES DE VARIACIÓN	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS
TOTAL	269	
GENOTIPOS (G)	(29)	60.54**
Nativas	9	56.93**
Mejoradas	7	56.42**
Clones	11	67.99**
Nativas vs Mejoradas	1	53.4**
Clones vs Nativas y Mejoradas	1	54.3**
TEMPERATURAS (T)	(2)	100.65**
(3 °C) vs (0 °C)(-3 °C)	1	163.84**
(0 °C) vs (-3 °C)	1	37.45**
GxT	58	3.08**
ERROR	180	0.02
<b>Promedio (grados)</b>		3.72
<b>CV (%)</b>		3.80

**Cuadro 12.** Prueba de Tukey al 5 % para nivel de daño en la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

NIVEL DE DAÑO	
GENOTIPOS	GRADOS*
Carrizo Cotopaxi	5 h-i
Yana papa	5 h-i
Wagra singa	5 g-h
Chaucha amarilla alargada	5 g-h
Tushpa	1 a-c
Uvilla	0 a-b
Dolores	5 g-i
Violeta	5 h-i
Coneja blanca	3 f
Súper violeta	5 g-h
Superchola	2 f
INIAP-Puca Shungo	2 d-f
INIAP-Yana Shungo	1 a-d
INIAP-Pan	5 h-i
INIAP-Estela	6 i
INIAP-Fripapa	1 a-e
INIAP-Natividad	4 g
INIAP-Victoria	2 f
98-11-6	6 h-i
05-15-1	5 h-i
97-25-3	0 a
98-2-6	6 i
99-99-2	2 c-f
00-24-1	2 e-f
00-23-3	5 g-h
05-32-6	6 h-i
05-22-11	5 h-i
399062-115	1 b-f
399075-26	6 i
399079-23	5 h-i

\* Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos, según Tukey al 5 %.

**Cuadro 13.** Prueba de Tukey al 5% para temperaturas en 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

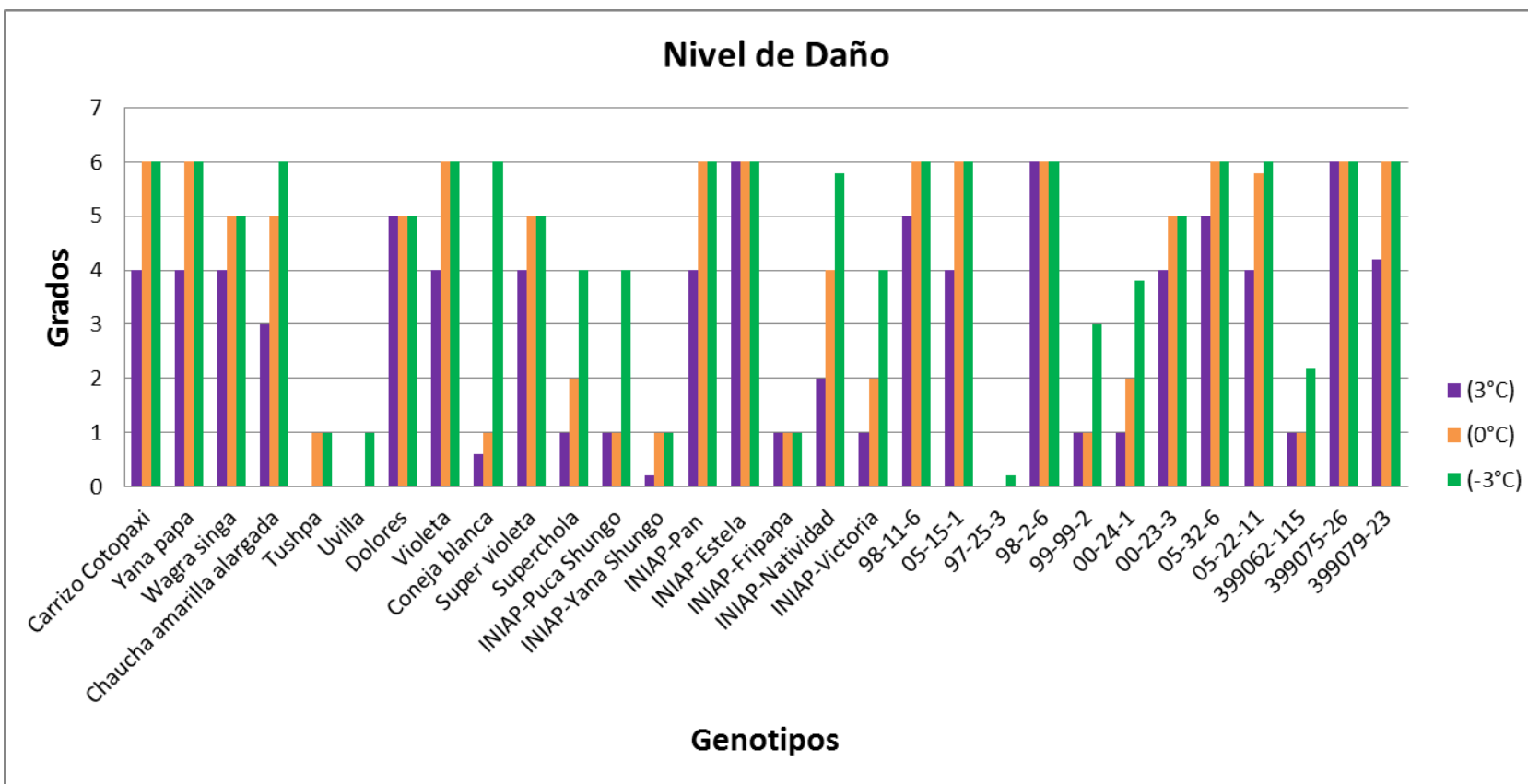
TEMPERATURAS	
3 °C	3 a
0 °C	4 b
-3 °C	5 c



**Cuadro 14.** Prueba de Tukey al 5 % para la interacción genotipo x temperatura, bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

GENOTIPOS	NIVEL DE DAÑO		
	Grados		
	3 °C*	0 °C*	-3 °C*
Carrizo Cotopaxi	4 f-g	6 i	6 i
Yana papa	4 f-g	6 i	6 i
Wagra singa	4 f-g	5 h	5 h
Chaucha amarilla alargada	3 e	5 h	6 i
Tushpa	0 a	1 c	1 c
Uvilla	0 a	0 a	1 c
Dolores	5 h	5 h	5 h
Violeta	4 f-g	6 i	6 i
Coneja blanca	1 b	1 c	6 i
Súper violeta	4 f-g	5 h	5 h
Superchola	1 c	2 d	4 e
INIAP-Puca Shungo	1 c	1 c	4 e
INIAP-Yana Shungo	0 a	1c	1 c
INIAP-Pan	4 f-g	6 i	6 i
INIAP-Estela	6 h	6 i	6 i
INIAP-Fripapa	1 c	1c	1c
INIAP-Natividad	2 d	4 d	6 i
INIAP-Victoria	1 c	2 d	4 e
98-11-6	5 h	6 i	6 i
05-15-1	4 f-g	6 i	6 i
97-25-3	0 a	0 a	0 a
98-2-6	6 i	6 i	6 i
99-99-2	1 c	1 c	3 e
00-24-1	1 c	2 d	4 f
00-23-3	4 f-g	5 h	5 h
05-32-6	5 h	6 i	6 i
05-22-11	4 f-g	6 i	6 i
399062-115	1 c	1c	2d
399075-26	6 i	6 i	6 i
399079-23	4 g	6 i	6 i

\* Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos, según Tukey al 5 %.



**Gráfico 2.** Nivel de daño en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

Se observó gran variabilidad en la respuesta de los genotipos a los daños causados por las diferentes temperaturas evaluadas (Cuadro 14 y Gráfico 2), estos resultados pueden deberse a que las variedades presentan distinta reacción frente al daño por heladas a la misma temperatura y en el mismo estadio fenológico según lo reporta la FAO en el 2010. Para esta variable se consideró al grado 0 y 1 como criterio de selección, debido a que el daño que presentaron los genotipos (Uvilla, Tushpa, INIAP-Victoria, INIAP-Puca Shungo, INIAP-Yana Shungo, INIAP-Fripapa, Superchola, 97-25-3 y 00-24-1, 99-99-2 y 399062-115) es bajo: sin daños visibles y ligero bronceado en los folíolos superiores, respectivamente, en el siguiente nivel, con grado 2, se presentó muerte de partes vegetativas de la planta como se muestra en la escala establecida por Vega y Bamberg (1995), aunque la planta no se encontró completamente muerta, su daño es visible. Lo que realmente daña a las plantas es la formación de hielo, provocando la salida de agua y dañando las células por deshidratación (FAO, 2010), por lo que se considera que las membranas celulares son generalmente el sitio primario de daño por frío (Lyons, 1973; Nishida y Murata, 1996).

Las temperaturas próximas a 0 °C no siempre causan la muerte de las hojas pero provocan daños selectivos en las hojas más jóvenes y en la zona apical del tallo (Maroto, 1992). Las temperaturas bajas producen clorosis en formas de áreas difusas o manchas, esto explica la disminución de las lecturas SPAD Cuadro 14 y Gráfico 2, luego de expuestas las plantas al estrés.

#### 4.4. Análisis de correlación

En el Cuadro 15, se presenta el análisis de correlación entre las variables evaluadas, en donde se observó que en la variables contenido de clorofila entre los valores antes y después se tiene una correlación significativa, lo que indica que no solo hay influencia de la temperatura sobre el cambio de clorofila, también se puede atribuir a factores genéticos de las plantas, entre las demás variables no se encontró correlación lo que indica que no hay asociación entre las variable, cada una es independiente.

**Cuadro 15.** Coeficientes de correlación entre las variables evaluadas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

Variables	Variables				
		Contenido de clorofila antes	Contenido de clorofila después	CRA	Nivel de daño
	Cont. de clorofila antes	1	0.45*	-0.02	-0.14
	Cont. de clorofila después		1	-0.05	0.04
	CRA			1	-0.11
	Nivel de daño				1

\* Significativa al 5 %

## V. CONCLUSIONES

- Las variables Contenido de Clorofila y Contenido Relativo de Agua, no permitieron establecer niveles de resistencia entre genotipos.
- Basados en los resultados la variable Nivel de daño fue la más adecuada para seleccionar los genotipos con mayores niveles de resistencia al frío.
- Las variedades nativas: Tushpa y Uvilla, las mejoradas: INIAP-Fripapa e INIAP-Yana Shungo y el clon 97-25-3 fueron los genotipos seleccionados como resistentes a las bajas temperaturas, debido a que presentaron el menor nivel de daño.
- Gran variación de los genotipos en relación al contenido de clorofila, CRA y nivel de daño puede ser aprovechada en mejoramiento para el desarrollo de nuevas variedades.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Los genotipos Uvilla, 97-25-3, podrían ser usados en forma directa o como progenitores dentro del proyecto de mejoramiento.
- Realizar ensayos en campo en zonas donde se presenten heladas frecuentes con los genotipos resistentes Uvilla y 97-25-3 incluyendo además, Tushpa, INIAP-Victoria, INIAP-Puca Shungo, INIAP-Yana Shungo, INIAP-Fripapa, Superchola y los clones 00-24-1, 99-99-2 y 399062-115, los mismos que tuvieron respuesta positiva en alguna de variables evaluadas.
- Considerar a la variedad mejorada INIAP-Estela y los clones 98-2-6 y 399075-26 como genotipos susceptibles a las bajas temperaturas en futuros ensayos.
- Utilizar la variable Nivel de daño como un método de selección para resistencia a heladas.

## VII. RESUMEN

La papa es uno de los cultivos alimenticios más importantes en el Ecuador, cuya producción se localiza principalmente en tres zonas de la Sierra, Norte, Centro y Sur con gran adaptabilidad a diversos climas y sistemas de cultivo.

El cultivo de papa es afectado por un sin número de limitantes de origen biótico y abiótico, dentro de este último están las sequías y las heladas, las cuales, en los últimos años, se han hecho más evidentes por efectos del llamado cambio climático.

En lo que se refiere a las heladas, este factor influye en el desarrollo normal de la planta y puede llegar a reducir el rendimiento entre un 30 % hasta un 100 %, dependiendo de la intensidad y del tiempo de exposición a ésta.

En esta investigación se estudió el comportamiento de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.) a estrés por bajas temperaturas bajo condiciones controladas, el ensayo se llevó a cabo en un invernadero perteneciente al Programa Nacional de Raíces y Tubérculos Rubro Papa (PNRT-Papa) en la Estación Experimental “Santa Catalina” del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias “INIAP”.

Dentro de los genotipos utilizados se evaluaron 10 variedades nativas, Carrizo Cotopaxi, Yana Papa, Wagra Singa, Chaucha Amarilla Alargada, Tushpa, Uvilla, Dolores, Violeta, Coneja blanca, Súper violeta, 8 mejoradas, Superchola, INIAP-Puca Shungo, INIAP-Yana Shungo, INIAP-Pan, INIAP-Estela, INIAP-Fripapa, INIAP-Natividad, INIAP-Victoria y 12 clones promisorios, 98-11-6, 05-15-1, 97-25-3, 98-2-6, 99-99-2, 00-24-1, 00-23-3, 05-32-6, 05-22-11, 399062-115, 399075-26, 399079-23. Los genotipos se sometieron a tres temperaturas (3°C, 0°C y -3 °C) en un fitotrón.

Se utilizó sustrato (3 partes de suelo negro, 1 parte de pomina y 1 parte de humus) previamente pasteurizada en macetas de 1 kg de capacidad, para la siembra se utilizó un tubérculo-semilla desinfestado de 60 a 80g de peso y en estado de brotación múltiple, se colocó a una profundidad de 5 a 10 cm para uniformizar la germinación.

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con un arreglo factorial 30 x 3, con 5 observaciones. Las plantas fueron llevadas a un fitotrón en donde se aplicó el tratamiento por temperatura durante 3 horas, luego se procedió a llevar nuevamente al invernadero para su respectiva toma de datos.

Las variables evaluadas fueron: Contenido de clorofila (CC) tomado 10 días antes y 10 días después utilizando un medidor de clorofila Minolta® SPAD, Contenido Relativo de Agua (CRA) y Nivel de daño (ND).

Para CC 10 días antes, el genotipo con el mayor promedio fue el clon 98-2-6 con 50.72 unidades SPAD (USP), mientras que 10 días después la variedad Wagra Singa obtuvo el mayor CC con 42.31 (USP).

La variable CRA no presenta variación entre los genotipos estudiados. Las variables CC y CRA no mostraron relación con el daño presentado en las plantas, por lo no se puede realizar una selección de los genotipos tolerantes a las bajas temperaturas basados en estos parámetros.

En la variable ND el genotipo con el menor nivel de daño (grado 0) fue el clon 97-25-3 y la variedad nativa Uvilla, seguido de los genotipos Tushpa, INIAP-Fripapa, INIAP-Yana Shungo que también presentan un nivel de daño bajo (grado 1).

De acuerdo a estos resultados los genotipos con las mejores características fueron las variedades nativas Tushpa y Uvilla, las mejoradas INIAP-Fripapa e INIAP-Yana Shungo y el clon 97-25-3, genotipos seleccionados como tolerantes a bajas temperaturas.

Por los resultados expuestos se recomienda: usar como progenitores en su programa de mejoramiento los genotipos Uvilla, 97-25-3 por su resistencia a las bajas temperaturas.

Evaluar, en zonas donde se presenten heladas frecuentes, los genotipos tolerantes Uvilla y 97-25-3, incluir los genotipos Tushpa, INIAP-Victoria, INIAP-Puca Shungo, INIAP-Yana Shungo, INIAP-Fripapa, Superchola y los clones 00-24-1, 99-99-2 y 399062-115.

## SUMMARY

The potato is one of the most important crops in Ecuador; the production is mainly located in three Highland areas, North, Center and South with a large adaptation to different environments and crop systems.

The potato crop is affected by many biotic and abiotic problems; like drought and frost, that in recent years have been become more evident. Related to frost, this factor affects the normal development of the plant and it could reduce the yield between 30 % to 100 %, it depends on the intensity and time of exposure of the crop to the frost.

In this research we studied 30 potato genotypes (*Solanum* spp.) exposed to low-temperature stress under controlled conditions; this of Santa Catalina research station of the National Agriculture Research Institute (INIAP).

Among the 30 genotypes, there were 10 native varieties (Carrizo Cotopaxi, Yana Papa, Wagra Singa, Chaucha amarilla alargada, Tushpa, Uvilla, Dolores, Violeta, Coneja blanca, Super violeta), 8 improved varieties (Superchola, INIAP-Puca Shungo, INIAP-Yana Shungo, INIAP-Pan, INIAP-Estela, INIAP-Fripapa, INIAP-Natividad, INIAP-Victoria) and 12 advanced clones (98-11-6, 05-15-1, 97-25-3, 98-2-6, 99-99-2, 00-24-1, 00-23-3, 05-32-6, 05-22-11, 399062-115, 399075-26, 399079-23). The genotypes were evaluated under three temperatures (3 °C, 0 °C and -3 °C) in a growth chamber.

The soil substrate consisted of black soil, pomina and humus previously pasteurized in pots of 1 kg of capacity. For each plant we disinfested seed tubers of 60-80 g, in a sprouting state. Each seed was covered with a layer of 5 to 10 cm of soil to get uniform germination. We used a completely randomized design with a factorial arrangement 30 x 3 with 5 observations.

The plants were placed into a growth chamber, and the temperature treatment was applied for 3 hours, then we proceeded to put in to the greenhouse for respective data collection.

The variables evaluated were: Chlorophyll content (CC) taken 10 days before and 10 days after using a chlorophyll meter Minolta ® SPAD, Relative Water Content (RWC) and Level of damage (ND).

For CC (10 days before), the genotype with the highest average was the clone 98-2-6 with 50.72 SPAD units (USP), whereas 10 days after the variety Wagra singa had the highest CC with 42.31 (USP).



The Relative water content variable showed no change between the genotypes studied. CC and RWC variables showed no relation to the damage introduced into plants, so that it could not perform a selection of genotypes tolerant to low temperatures based on these parameters.

In the variable ND genotype with the lowest level of damage (score 0) was the clone 97-25-3 and Uvilla variety, followed by Tushpa, INIAP-Fripapa, INIAP-Yana Shungo which also have a low level of damage (score 1).

According to these results, the genotypes with the best features in the variables studied and better response to stress are the varieties Uvilla and Tushpa, and the improved varieties INIAP-Fripapa and INIAP-Yana Shungo and the clone 97-25-3, these genotypes were selected as resistant to low temperatures.

Using these results we recommend: The genotypes Uvilla and 97-25-3 as parents in breeding scheme to low temperatures.

To evaluate the potato genotypes Uvilla and 97-25-3 in areas where frost occur frequently the potato tolerant genotypes Uvilla and 97-25-3, and to include genotypes Tushpa, INIAP-Victoria, INIAP-Puca Shungo, INIAP-Yana Shungo, INIAP-Fripapa, Superchola and the clones 00 - 24-1, 99-99-2 and 399062-115.

## VIII. REFERENCIAS

- ALBERDI, M. and CORCUERA, L. 1991. Cold acclimation en plants. *Phytochemistry*. N° 30: 3177-3184
- ANDRADE, H.; BASTIDAS, O.; SHERWOOD, S. 2002. La papa en el Ecuador In: *El Cultivo de la papa en Ecuador*. Quito, EC. INIAP. p. 21-28
- APEL, K. and HIRT, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*. N° 55: 373-399
- ARTUNDUAGA, I. 1980. *Las heladas y su control*. Bogotá, CO. Editorial TOA. 59 p.
- BAIS, H.P. and RAVISHANKAR, G.A. 2002. Role of polyamines in the ontogeny of plants and their biotechnological applications. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 69: 1-34
- BEHNAM, B.; KIKUCHI, A.; CELEBI-TOPRAK, F.; YAMANAKA, S.; KASUGA M, YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. and WATANABE KN. 2006. The Arabidopsis DREB1A gene driven by the stress-inducible rd29A promoter increases salt-stress tolerance in proportion to its copy number in tetrasomic tetraploid potato (*Solanum tuberosum*). *Plant Biotech*. 23: 169-177
- BHATNAGAR-MATHUR, P.; VADEZ, V. and SHARMA, KK. 2008. Transgenic approaches for abiotic stress tolerance in plants: retrospect and prospects. *Plant Cell Rep*. 27: 411-24
- BIDWELL, RGS. 2002. *Fisiología vegetal*. México DF., MX. AGT Editor. 784 p.
- BRAVO, L. 1996. *Tolerancia al congelamiento en cebada*. Tesis de Doctor en Ciencia Biología. Santiago, CH. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Biológicas. 87 p.
- CCI (Cámaras Climáticas). Cámaras de ensayos climáticos y de envejecimiento ambiental acelerado para reproducción y simulación en laboratorio de climas naturales o artificiales. Diseño, investigación y desarrollo desde 1967. s.l. Consultado 26 Sep. 2013. Disponible en: <http://cci-calidad.blogspot.com/2009/07/camaras-para-crecimiento-de-plantas.html>
- CARLOS, G. 2010. *Las heladas en el Perú y el mundo*. Maestría en Ciencias con Mención en Gestión de Riesgos de Desastres y Responsabilidad Social. Huancayo, PE. Universidad Continental de Ciencias e Ingeniería. 42 p.
- CUESTA, X.; ANDRADE, H.; BASTIDAS, O.; QUEVEDO, R.; SHERWOOD, S. 2002. Botánica y Mejoramiento Genético. In: *El cultivo de la papa en Ecuador*. Quito, EC. INIAP. p. 33-36

CUESTA, X. 2012. Valor nutritivo de la papa. Revista Informativa del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 7 ed. Quito, EC. INIAP. 37 p.

\_\_\_\_\_. 2013. Potato quality traits: variation and genetics in Ecuadorian potato landraces. Ph. D. Thesis. Wageningen, NL. Wageningen University. p. 157-161

CHEN, P.; BURKE, M. and LI, P. 1977. The frost hardiness of several *Solanum* species in relation to freezing of water, melting point depression and tissue water content. Bot. Gaz. 137: 313-317

CHLOROPHYLL CONTENT METER. 2009. Medidor de clorofila en plantas con medición instantánea. Infoagro - Systems. US. Consultado: 26 Sep. 2013. Disponible en: [http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/medidor.asp?id=8501](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=8501)

CHLOROPHYLL METER, 2009. Medidor de clorofila SPAD 502 Plus. US. Manual del producto. 23 p.

DEVAUX., A.; ORDINOLA., A.; HIBON, A. 2010. El sector papa en la región andina: Diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador, Perú). Lima, PE. Centro Internacional de la Papa. 385 p.

EKANAYAKE, I. 1993. Evaluación de resistencia a la sequía en genotipos de papa y batata (camote). CIP guía investigativa. N° 19: 16 p.

ESTRADA, M. 2001. Cambio climático global: causas y consecuencias. Revista de información y análisis. N° 16: 7-17

ESTRADA, N. 2000. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. La Paz, BO. Bill Hardy. 372 p.

EVANS, P. and MALMBERG, R. 1989. Do polyamines have role in plant development. Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology. 87: 519-522

FAIRLIE, T. y ORTEGA, A. 1995. Efecto de la resistencia de heladas simuladas en diferentes estados fenológicos y su impacto en el rendimiento de la papa cv Ccompis: Estudio preliminar. Revista Latinoamericana de la papa. 7 (8): 86-93

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT.) 2008. Requerimientos Edafoclimáticos. La Papa o Patata. Año Internacional de la Papa. Tesoro enterrado. Consultado 02 Oct. 2013. Disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html>

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT.) 2010. El daño producido por las heladas: fisiología y temperaturas críticas. In Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Roma, IT. 1: 241
- FAUST, M. and WANG, S. 1992. Polyamines in horticulturally important plants. Horticultural Reviews. 14: 333 - 356
- FOWLER, S. and THOMASHOW, MF. 2002. Arabidopsis transcriptome profiling indicates that multiple regulatory pathways are activated during cold acclimation in addition to the CBF cold response pathway. Plant Cell. 14: 1675-1690
- FOYER, CH. and NOCTOR, G. 2005. Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. Plant Cell. 7: 1866-1875
- FRANCO, J. 2002. El cultivo de papa en Guatemala. Guatemala, GT. ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola). Consultado 04 Oct. 2013. Disponible en: [http://www.icta.gob.gt/fpdf/recom\\_/hortalizas/cuttivopapagt.PDF](http://www.icta.gob.gt/fpdf/recom_/hortalizas/cuttivopapagt.PDF). 52 p.
- GABRIEL, J.; MAGNE, J.; GARCÍA, R. y. 2009. Variedades nativas de papa: Tecnología tangible para afrontar el efecto causado por la helada y la sequía. Revista Latinoamericana de la Papa 15(1): 75-77
- GALSTON, A.W. and KAUR-SHAWNEY, R. 1987. Polyamines as endogenous growth regulators. Plant hormones and their role in plant growth and development. US. Ed. P. J. Davies. Martinus Nijhoff Publishers. p. 280-295
- GAWRONSKA, H. and DWELLE, R. 1989. Partitioning of photoasimilates by potato plants (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by irradiance I. partitioning patterns. Cultivar russet burbank grow under high and irradiance. American potato journal. 66 (4): 201-213
- GILL, S. and TUTEJA, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant physiology and Biochemistry. 48: 909-930
- GRACE , B. 1985. El clima del Altiplano del Departamento de Puno. Puno, PE. p. 180
- GRACIA, E., 1983. La clorofila en los encinares de Montseny. Tesis Doctoral. Barcelona, ES. Universidad de Barcelona. 234 p.
- GRAY, J.; BEVAN, M. and BRUTNELL, T. 2009. A recommendation for naming transcription factor proteins in the grasses. Plant Physiology. 149: 4-6

- GREAVES, J. A. and WILSON, J. M. 1986. Assessment of the non-freezing cold sensitivity and cultivated potato genotypes by chlorophyll fluorescence analysis. *Potato Research*. 29: 509-520
- GUY, C. 1990. Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism. *Ann Rev. Plant Mol. Biol.* 41: 187-223
- GUYE, M.G.; VIGH, L. and WILSON, J.M. 1986. Polyamine titre in relation to chill-sensitivity in *haseolus* sp. *Journal of Experimental Botany*. 37: 1036-1043
- HINOJOSA, L. 2009. Estudio del comportamiento agronómico de genotipos de papa (*Solanum* spp.) bajo estrés hídrico en invernadero. Tesis Ing. Agr. Quito: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. 92 p.
- HIRAYAMA, T. and SHINOZAKI, K. 2010. Research on plant abiotic stress responses in the postgenome era: past, present and future. *Plant Journal*. 61: 1041-1052
- HUAMÁN, Z. and SPOONER, D.M. 2002. Reclassification of landrace populations of cultivated potato (*Solanum* sect. *Petota*). *Amer. J. Bot.* 89: 947-965
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e hidrología, Ec). 2011. Estadísticas de las heladas. Porcentaje de heladas en el Ecuador, Región Interandina. Quito, EC. 38 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2011. Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador ESPAC. Quito, EC. Consultado: 02 Oct. 2013. Disponible en: <http://200.110.88.44/lcds-samples/testdrive-remoteobject/main.html#app=dbb7&9270-selectedIndex=1>
- ITO, Y.; KATSURA, K.; MARUYAMA, K.; TAJI, T.; KOBAYASHI, M.; SEKI, S.; SHINOZAKI, K. and YAMAGUCHI- SHINOZAKI, K. 2006. Functional analysis of rice DREB1/CBF type transcription factors involved in cold responsive gene expression in transgenic rice. *Plant Cell Physiol.* 47: 141-153
- JOHNSON, R. C.; NGUTAN, H. T. and CROY, L. T. 1984. Osmotic adjustment and solute accumulation in wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci.* 24: 957-962
- KASUGA, M.; LIU, Q.; MIURA, S.; YAMAGUCHI, S. and SHINOZAKI, K. 1999. Improving plant drought, salt, and freezing tolerance by gene transfer of a single stress-inducible transcription factor. *Nat iotechnol.* 17: 287-291

- KASUGA, M.; MIURA, S. and YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. 2004. A combination of the Arabidopsis DREB1A gene and stress inducible rd29A promoter improved drought and low temperature stress tolerance in tobacco by gene transfer. *Plant Cell Physiol.* 45: 346-350
- KIM, S. 2006. The role of ABF family bZIP class transcription factors in stress response. *Physiol Plant.* 126: 519-5276
- LEVITT, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Academic Press. 497 p.
- LIU, Q.; KASUGA, M.; SAKUMA, Y.; ABE, H.; MIURA, S.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. and SHINOZAKI K. 1998. Two transcription factors, DREB1 and DREB2, with an EREBP/AP2 DNA binding domain separate two cellular signal transduction pathways in drought- and low-temperature- responsive gene expression, respectively, in Arabidopsis. *The Plant Cell.* 10: 1391-1406
- LORENZO, L.; MERCHAN, F.; LAPORTE, P.; THOMPSON, R.; CLARKE, J.; SOUSA, C. and CRESPI, M. 2009. A novel plant leucine-rich repeat receptor kinase regulates the response of Medicago truncatula roots to salt stress. *The Plant Cell.* 21: 668-680
- LYONS, J. 1973. Chilling injury in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24: 445-466
- MAHAJAN, S. and TUTEJA, N. 2005. Cold salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics.* 444: 139-158
- MARGALEF, R. 1974. Ecología. Barcelona, ES. Omega. 951 p.
- MAROTO, J.V. 1992. Horticultura herbácea especial. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 566 p.
- MARTÍNEZ, L.; IBACACHE, A.; ROJAS, L. 2007. Efectos de las heladas en la agricultura. La Serena, CL. INIA. Boletín informativo N° 165 68 p.
- MATÍAS, L.; FUENTES, O.; GARCÍA, F. 2001. Heladas. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México DF., MX. s.e. 35 p.
- MC. DANIEL, R. 1986. Fisiología de los efectos de la temperatura en las plantas. In. Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. México DF., MX. Ed. Christiansen. p. 23-51
- MONTEROS, C. 2000. Respuesta de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), a diferentes temperaturas bajas en tres fases fenológicas. Tesis Maestría en Agricultura Andina. Puno, PE. Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Postgrado. 107 p.

- MUJICA, A.; JACOBSEN, E. 1999. Fisiología de la Resistencia a las sequía en Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). In. Primer Curso Internacional. Proyecto Quinoa. Lima, PE. CIP. p. 71-75
- MUÑIZ, M.; CAPIATI, D. 2011. Utilización de factores de transcripción como herramienta biotecnológica para incrementar la tolerancia a la sequía en plantas. Revista Química Viva. 3: 187-198
- MURILLO, V. 1977. Evaluación y utilización de las papas cultivadas por resistencia a heladas. Tesis MSc. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria la Molina. Programa Académico de Graduados. 90 p.
- NAKASHIMA, K. and, YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. 2009. Transcriptional Regulatory Networks in Response to Abiotic Stresses in Arabidopsis and Grasses. Plant Physiology. 149: 88-95
- NISHIDA, I. and MURATA, N. 1996. Chilling sensitivity in plants and cyanobacteria: The Crucial Contribution of Membrane Lipids. Annu. Rev.Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 47: 561-568
- OCHOA, C. 2001. Las papas de Sudamérica. La Paz. BO. Plural editores. 535 p.
- OH SJ SONG SI, KIM, YS.; JANG, HJ.; KIM, SY.; KIM, M.; KIM, YK.; NAHM, BH. and KIM, JK. 2005. Arabidopsis CBF3/DREB1A and ABF3 in transgenic rice increased tolerance to abiotic stress without stunting growth. Plant Physiol 138: 341-351
- ORTEGA, B. 2002. Bases Teóricas y su Aplicación para la Fertilización Nitrogenada en Cultivos. Francisco Morazán, HN. Centro de Agricultura de Precisión, Departamento de Ciencias Vegetales. 56 p.
- OYARZÚN, P.; CHAMORRO, F.; CÓRDOVA, J.; MERINO, F.; VALVERDE, F. Y VELÁZQUEZ, J. 2002. Manejo Agronómico. In. El cultivo de la papa en Ecuador. Quito, EC. INIAP. p. 51-84
- PALTA, J. and LI, P. 1977. Frost killing temperatures of 60 tuber-bearing *Solanum* species. American potato journal. 54: 452-456
- PERL-TREVES, R. and PERL, A. 2002. Oxidative stress: an introduction. In: Oxidative stress in plants. Londres, UK. Ed. Inzé D. and Van Montagu M. p. 1-32
- PINO, M.T.; SKINNER, J. S.; JEKNIĆ, Z.; HAYES, P.; SOELDNER, A.; THOMASHOW, M. and CHEN, T. 2008. Ectopic AtCF1 over-expression enhances freezing tolerance and

induces cold acclimation-associated physiological modification in potato. *Plant, cell and environment*. 31: 393-406

ROMERO, H. y RODRÍGUEZ, J. 1996. Acción de las poliaminas en la protección de papa criolla (*Solanum phureja* ev. "Yema de Huevo") contra las heladas. *Agronomía Colombiana*. 13 (1): 50-55

SALISBURY, F. y ROSS, W. 1994. Fisiología vegetal. Trad. por. V. Gonzáles. Ed. Grupo Editorial Iberoamérica. p. 538-558

STEPONKUS, P. 1984. Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation. *Annu. Rev. Plant Physiol*. 35: 543-584

STRAUSS, G. and HOUSER, H. 1986. Stabilization of lipid bilayer vesicles by sucrose during freezing. *Proc. Natl.Acad.Sci*.83: 2422-2426

SUKUMARAN, N. and WEISER, C. 1972. Freezing injury in potato leaves. *Plant Physiol*. 50: 564-567

VEGA, S. and BAMBERG, J. 1995. Screening the U.S. potato collection for frost hardiness. *American Potato Journal* 72: 13-21

WANG, W.; VINOCUR, B. and ALTMAN, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*. 218(1):1-14

YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. and SHINOZAKI, K. 2005. Organization of cis-acting regulatory elements in osmotic- and cold-stress-responsive promoters. *Trends Plant Sci*. 10: 88-94



## IX. ANEXOS

### Anexo 1. Medidor de clorofila SPAD – 502 Plus



Medidor de Clorofila SPAD-502 Plus es un medidor compacto y ligero que puede ser utilizado para determinar la cantidad de clorofila presente en las hojas de la planta.

La cantidad de clorofila presente en las hojas de la planta puede servir como un indicador de la condición general de la planta. En general, las plantas más saludables contienen más clorofila que las menos saludables.

El valor determinado por el SPAD• 502Plus indica la cantidad relativa de clorofila presente en las hojas de la planta. Este valor SPAD se puede utilizar para determinar cuando la fertilización adicional es necesaria. A través del uso adecuado de los valores medidos por el SPAD, es posible producir plantas más sanas, lo que resulta en un rendimiento mayor de los cultivos y de mejor calidad (Chlorophyll Meter, 2009).

## **Anexo 2.** Fitotrón



Para el estudio de cultivos de plantas, su crecimiento y su desarrollo evolutivo, germinación de semillas, etc, bajo diversas condiciones ambientales, se emplean las cámaras de investigación climática.

En este tipo de cámaras, no solo se pueden simular condiciones ambientales variables de temperatura y humedad, sino también de radiaciones solares y atmósferas gaseosas modificadas (ozono, CO<sub>2</sub>, etc.) en función de los entornos de investigación que se pretendan estudiar. (CCI, 2009).

**Anexo 3.** Análisis Físico-Químico del sustrato usado en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

	<b>ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"</b> <b>LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS</b> Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
---	---	---

### REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<b>DATOS DEL PROPIETARIO</b> Nombre : JESSICA AMAGUA Dirección : MEJIA Ciudad : Teléfono : Fax :	<b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b> Nombre : INIAP Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : CUTUGLAGUA Ubicación :
<b>DATOS DEL LOTE</b> Cultivo Actual : PAPA Cultivo Anterior : Fertilización Ant. : Superficie : Identificación : SUSTRATO	<b>PARA USO DEL LABORATORIO</b> N° Reporte : 2.550 N° Muestra Lab. : 46166 Fecha de Muestreo : 05/07/2012 Fecha de Ingreso : 06/07/2012 Fecha de Salida : 23/07/2012

Nutriente	Valor	Unidad											
N	125.00	ppm	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td colspan="3">INTERPRETACION</td></tr> <tr><td>BAJO</td><td>MEDIO</td><td>ALTO</td></tr> <tr><td colspan="3" style="height: 40px;"></td></tr> </table>	INTERPRETACION			BAJO	MEDIO	ALTO				
INTERPRETACION													
BAJO	MEDIO	ALTO											
P	183.00	ppm											
S	164.00	ppm											
K	0.88	meq/100 ml											
Ca	15.40	meq/100 ml											
Mg	3.40	meq/100 ml	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td colspan="3">BAJO MEDIO ALTO</td></tr> <tr><td colspan="3" style="height: 40px;"></td></tr> </table>	BAJO MEDIO ALTO									
BAJO MEDIO ALTO													
Zn	11.20	ppm											
Cu	3.30	ppm											
Fe	209.00	ppm											
Mn	51.10	ppm											
B	1.00	ppm	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td colspan="3">BAJO MEDIO ALTO</td></tr> <tr><td colspan="3" style="height: 20px;"></td></tr> </table>	BAJO MEDIO ALTO									
BAJO MEDIO ALTO													
pH	6.55		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>BAJO</td> <td>MEDIO</td> <td>ALTO</td> <td>TOXICO</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="height: 20px;"></td> </tr> </table>	BAJO	MEDIO	ALTO	TOXICO						
BAJO	MEDIO	ALTO	TOXICO										
Acidez Int. (Al+H)	meq/100 ml		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Acido</td> <td>Lig. Ac.</td> <td>Práctic. Neutro</td> <td>Lig. Alc.</td> <td>Alcalino</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="height: 40px;"></td> </tr> </table>	Acido	Lig. Ac.	Práctic. Neutro	Lig. Alc.	Alcalino					
Acido	Lig. Ac.	Práctic. Neutro		Lig. Alc.	Alcalino								
Al	meq/100 ml												
Na	meq/100 ml		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td colspan="3">BAJO MEDIO TOXICO</td></tr> <tr><td colspan="3" style="height: 20px;"></td></tr> </table>	BAJO MEDIO TOXICO									
BAJO MEDIO TOXICO													
CE	mmhos/cm		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>No Salino</td> <td>Lig. Salino</td> <td>Salino</td> <td>Muy Salino</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="height: 20px;"></td> </tr> </table>	No Salino	Lig. Salino	Salino	Muy Salino						
No Salino	Lig. Salino	Salino	Muy Salino										
MO	10.70	%	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td colspan="3">BAJO MEDIO ALTO</td></tr> <tr><td colspan="3" style="height: 20px;"></td></tr> </table>	BAJO MEDIO ALTO									
BAJO MEDIO ALTO													

Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)	%	ppm	Clase Textural		
Mg	K	K	Σ Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla
4,5	3,9	21,4	19,7					

  
 RESPONSABLE LABORATORIO

  
 LABORATORISTA

**Anexo 4.** Características de genotipos seleccionados para evaluar la respuesta a bajas temperaturas bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

GENOTIPO	CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN		
	Ploidía	Pedigrí	Comp. frente tizón tardío *
<b>Variedades nativas</b>			
Carrizo Cotopaxi	4x	”	MR
Yana Papa	4x	”	S
Wagra Singa	4x	”	Inter.
Chaucha Amarilla Alargada	2x	”	Inter.
Tushpa	4x	”	S
Uvilla	4x	”	S
Dolores	4x	”	Inter.
Violeta	4x	”	Inter.
Coneja blanca	4x	”	MR
Súper violeta	4x	”	MR
<b>Variedades mejoradas</b>			
Superchola	4x	[(Curipamba negra x <i>S. demissum</i> ) x clon resistente con comida amarilla x Chola seleccionada]	S
INIAP-Puca Shungo	3x	Autofecundación de la variedad nativa Chaucha Camote (BOM 532)	MR
INIAP-Yana Shungo	3x	Autofecundación de la variedad nativa Chaucha (HSO 213)	MR
INIAP-Pan	4x	Padres desconocidos	S
INIAP-Estela	4x	Superchola x (híbrido entre “Yema de huevo” <i>S. phureja</i> y <i>S. pausissectum</i> )	R
INIAP-Fripapa	4x	(Bulk México x 378158.721) x i-1039	R
INIAP-Natividad	4x	INIAP-Gabriela x (híbrido entre “Yema de huevo” <i>S. phureja</i> y <i>S. pausissectum</i> )	R
INIAP-Victoria	4x	INIAP- Gabriela x INIAP Fripapa	MR
<b>Clones Promisorios</b>			
98-11-6	4x	95-95-3 x 95-25-5	R
05-15-1	4x	ASO 861 x SOL 078	R
97-25-3	4x	B x C 399	R
98-2-6	4x	INIAP-Gabriela x INIAP-Margarita	R
99-99-2	4x	95-54-1 x INIAP Gabriela	R
00-24-1	4x	Uvilla x D – 134	R
00-23-3	4x	INIAP-Esperanza x INIAP-Fripapa	R
05-32-6	4x	99-69-1 x 01-19-2	R
05-22-11	4x	99-2-11 x INIAP-Fripapa	R
399062-115	4x	395285.5 x 395282.3	R
399075-26	4x	(395266.2 (B1C4046.2) x 395282.3 (B1C4046.3))	R
399079-23	4x	395274.1 x 395257.6	R

**Fuente:** Programa de mejoramiento de papa del INIAP, CIP. 2011.

\*R= Resistente, MR = Moderadamente resistente, Inter = Resistencia intermedia, S= Susceptible

**Anexo 5.** Registro de datos de la variable contenido de clorofila antes en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

<b>CONTENIDO DE CLOROFILA</b>	<b>10 días antes de exponer a 3 °C</b>					<b>10 días antes de exponer a 0 °C</b>					<b>10 días antes de exponer a -3 °C</b>				
<b>GENOTIPOS</b>	<b>O1</b>	<b>O2</b>	<b>O3</b>	<b>O4</b>	<b>O5</b>	<b>O1</b>	<b>O2</b>	<b>O3</b>	<b>O4</b>	<b>O5</b>	<b>O1</b>	<b>O2</b>	<b>O3</b>	<b>O4</b>	<b>O5</b>
Carrizo Cotopaxi	53.30	52.87	52.50	44.67	45.03	41.23	47.97	43.47	47.57	47.37	48.20	47.83	43.93	41.03	45.60
Yana papa	49.03	40.30	43.37	36.10	38.53	46.20	46.70	41.03	36.13	37.37	49.33	49.10	45.07	35.03	37.27
Wagra singa	51.17	50.37	50.33	49.63	46.23	47.47	45.13	46.20	49.27	46.50	48.03	46.50	48.40	46.87	46.20
Chaucha amarilla alargada	49.20	49.63	48.43	42.67	42.23	42.23	46.50	44.63	45.53	39.23	40.17	35.43	46.73	45.60	41.23
Tushpa	48.17	47.23	49.53	40.17	40.97	46.57	43.17	47.40	39.47	45.47	45.30	47.90	45.37	44.40	42.80
Uvilla	55.13	55.83	55.10	44.17	46.23	52.43	54.80	48.57	43.13	42.63	50.73	54.50	55.00	43.93	45.33
Dolores	42.60	41.40	42.20	44.73	44.10	45.27	43.97	39.33	44.03	44.60	48.43	47.93	47.67	47.43	47.17
Violeta	43.30	43.23	42.30	36.50	33.73	40.87	44.27	41.40	36.07	43.40	39.00	41.80	41.00	40.00	43.17
Coneja blanca	54.10	52.30	53.17	40.70	46.27	51.63	55.13	55.13	42.63	43.40	55.17	41.27	47.60	46.17	44.53
Super violeta	45.50	42.47	39.17	38.27	36.00	42.73	40.53	43.27	37.17	39.03	42.97	42.73	43.50	43.50	41.10
Superchola	56.90	56.40	53.40	42.93	44.27	52.83	56.20	54.50	40.90	40.10	51.47	57.17	50.80	42.17	42.80
INIAP-Puca Shungo	51.97	53.90	52.97	40.03	46.80	52.87	57.33	55.33	36.17	38.33	56.80	56.27	57.03	44.57	51.50
INIAP-Yana Shungo	50.37	53.30	51.47	43.30	40.37	52.03	52.20	58.10	48.90	46.00	54.97	55.77	49.93	48.30	44.57
INIAP-Pan	46.43	45.10	47.23	35.87	39.50	45.20	43.80	46.70	37.90	42.70	44.67	40.47	52.50	43.53	48.73
INIAP-Estela	50.00	51.10	48.13	43.93	42.27	48.43	48.67	46.10	41.93	43.13	49.53	55.77	45.10	43.50	47.43
INIAP-Fripapa	53.27	59.50	54.93	39.10	39.10	58.67	58.50	55.00	41.40	45.50	45.17	57.23	54.33	47.80	46.20
INIAP-Natividad	50.63	49.97	47.17	37.80	41.97	50.80	48.67	51.70	44.13	38.80	49.00	45.93	47.97	42.77	40.40
INIAP-Victoria	57.37	52.57	55.47	39.97	40.90	52.10	54.87	54.53	48.83	44.47	54.20	51.50	50.10	39.60	40.67
98-11-6	53.30	56.33	49.67	43.27	43.93	54.87	54.90	55.40	44.80	40.57	51.97	48.37	55.20	46.60	43.93
05-15-1	56.80	54.07	52.17	41.03	45.23	44.33	50.60	47.60	33.30	35.60	49.07	58.20	47.47	42.30	40.80
97-25-3	43.40	48.90	44.70	40.30	43.23	43.37	43.67	45.60	48.40	43.47	48.13	44.57	46.40	42.73	42.97
98-2-6	54.90	59.40	54.50	44.63	43.77	54.77	55.33	53.87	48.20	46.37	47.73	45.93	61.00	48.07	42.30
99-99-2	44.07	42.00	48.90	33.60	34.70	41.67	36.67	37.40	36.97	39.30	45.70	41.47	50.17	40.60	44.30
00-24-1	42.33	42.63	44.93	40.83	39.20	47.57	48.40	51.10	46.23	42.43	42.20	41.17	46.90	36.03	36.67
00-23-3	46.60	44.33	49.37	40.23	44.03	50.50	45.13	49.20	42.67	40.00	48.07	49.20	53.70	41.90	44.63
05-35-6	53.03	56.33	53.83	37.27	42.63	53.77	45.67	51.93	45.30	46.17	48.00	52.27	59.47	43.93	47.10
05-22-11	54.97	55.90	52.27	42.00	38.67	44.43	50.13	44.40	43.90	50.57	50.20	47.03	48.00	48.10	47.43
399062-115	49.27	46.43	44.40	43.87	46.77	45.17	49.13	48.37	33.47	35.23	47.90	49.80	44.90	41.60	43.80
399075-26	48.97	44.53	43.63	38.03	43.73	45.87	47.17	47.47	44.30	45.00	45.43	49.73	49.10	45.63	43.80
399079-23	38.03	40.37	46.30	49.43	53.03	44.63	43.70	49.20	46.47	46.63	49.80	40.60	49.57	48.30	42.13

**Anexo 6.** Registro de datos de la variable contenido de clorofila después en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

CONTENIDO DE CLOROFILA	10 días después de exponer a 3 °C					10 días después de exponer a 0 °C					10 días después de exponer a -3 °C				
	O1	O2	O3	O4	O5	O1	O2	O3	O4	O5	O1	O2	O3	O4	O5
Carrizo Cotopaxi	47.00	45.30	47.03	34.17	39.33	39.07	33.43	32.00	45.10	39.27	48.13	45.20	42.33	36.37	42.67
Yana papa	38.70	38.93	38.60	34.03	34.93	41.30	38.77	38.10	30.90	34.30	40.27	41.17	37.20	30.53	32.13
Wagra singa	44.67	42.00	42.27	35.70	38.93	41.97	40.97	44.17	43.00	40.77	44.57	44.33	44.83	43.00	43.47
Chaucha amarilla alargada	27.70	27.97	27.90	33.47	33.03	35.87	34.00	34.90	32.40	31.47	34.97	34.23	32.90	34.83	32.47
Tushpa	38.77	35.87	40.57	34.10	33.27	41.73	38.57	34.17	27.03	36.30	44.97	41.83	43.47	40.80	39.20
Uvilla	36.43	38.07	38.37	37.43	40.30	32.50	31.40	36.10	35.57	36.59	36.80	48.57	41.30	34.23	38.90
Dolores	34.63	36.77	38.40	38.40	36.73	43.70	43.57	38.73	38.73	38.73	44.43	45.83	44.96	44.40	45.17
Violeta	26.40	25.93	25.20	32.07	32.27	34.30	32.93	33.00	29.23	37.53	31.47	32.57	36.93	32.40	37.03
Coneja blanca	35.73	39.37	37.27	34.73	34.87	33.23	32.97	33.70	37.70	36.00	40.03	35.23	43.50	39.50	38.93
Super violeta	32.97	32.37	31.17	36.20	31.87	30.87	32.43	31.70	35.63	32.30	34.70	31.90	34.67	32.43	33.70
Superchola	37.77	33.10	33.23	35.10	37.50	40.37	34.97	38.73	34.93	37.13	43.60	43.07	39.63	38.80	35.73
INIAP-Puca Shungo	41.80	43.80	43.23	34.83	37.13	47.10	43.70	44.73	34.67	35.27	46.10	45.87	43.60	38.37	44.17
INIAP-Yana Shungo	31.80	32.93	33.50	38.13	36.10	31.53	30.30	31.67	42.30	37.70	38.97	38.63	32.97	44.07	40.23
INIAP-Pan	44.33	41.67	39.70	30.47	38.27	43.50	42.73	41.13	35.47	41.77	40.03	37.97	40.67	37.43	44.20
INIAP-Estela	46.33	42.63	46.80	31.43	27.50	41.83	41.03	42.03	33.43	34.00	44.97	44.30	41.03	33.30	35.50
INIAP-Fripapa	43.37	43.43	42.33	37.70	31.43	43.27	41.87	40.63	37.17	41.73	43.97	45.80	43.17	41.50	42.63
INIAP-Natividad	42.27	43.90	42.73	35.73	35.80	41.37	40.77	41.30	39.77	35.20	44.93	43.47	42.37	34.07	30.47
INIAP-Victoria	41.20	43.63	43.93	33.27	37.63	44.93	42.57	43.23	42.00	39.10	45.00	44.40	44.57	38.80	34.83
98-11-6	35.73	36.03	33.77	38.73	34.27	38.00	37.47	35.47	37.67	31.03	36.97	38.23	39.30	36.47	41.77
05-15-1	36.70	33.60	35.97	36.83	35.87	39.47	35.53	35.03	27.83	26.03	35.13	29.83	36.53	32.30	34.57
97-25-3	42.07	39.53	42.37	34.27	32.63	34.57	32.60	31.83	38.10	30.43	38.77	34.60	40.17	35.17	35.73
98-2-6	38.57	39.03	39.77	41.70	35.07	39.90	37.97	34.37	45.00	37.90	44.00	40.83	40.77	46.50	39.33
99-99-2	33.70	35.17	32.87	34.53	32.63	31.57	30.83	34.07	31.67	30.80	29.17	33.40	36.40	35.67	35.93
00-24-1	39.40	37.33	39.67	38.73	32.00	34.70	37.17	40.90	36.27	35.73	39.90	39.87	39.43	34.23	32.73
00-23-3	33.60	30.73	33.73	34.63	37.90	31.47	34.43	33.93	34.67	34.37	35.83	34.03	33.47	34.83	43.10
05-35-6	33.60	31.63	33.40	33.90	39.53	34.63	30.93	34.37	36.13	40.50	33.80	36.00	33.90	36.27	43.73
05-22-11	37.60	35.77	38.20	30.57	27.40	39.30	33.03	33.04	31.80	43.77	35.03	36.97	31.27	42.93	38.83
399062-115	45.37	40.03	43.07	34.10	41.70	37.67	30.30	30.70	30.43	31.87	40.80	42.33	31.57	37.23	40.00
399075-26	44.50	43.33	42.00	33.30	31.40	39.90	38.53	36.97	38.47	40.53	35.73	38.77	37.13	36.87	37.50
399079-23	38.03	34.57	34.53	41.27	42.60	35.20	32.53	35.80	42.53	41.83	35.93	37.40	37.03	47.67	39.77

**Anexo 7.** Registro de datos de la variable contenido relativo de agua en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

CONTENIDO RELATIVO DE AGUA GENOTIPOS	Antes de exponer a 3 °C					Antes de exponer a 0 °C					Antes de exponer a -3 °C				
	O1	O2	O3	O4	O5	O1	O2	O3	O4	O5	O1	O2	O3	O4	O5
Carrizo Cotopaxi	43.79	42.26	49.64	67.88	49.64	66.67	63.96	75.00	62.41	63.59	66.97	65.67	73.53	71.18	60.38
Yana papa	70.59	75.62	78.09	79.28	77.95	68.33	63.98	64.17	78.80	75.41	71.19	62.40	66.89	83.07	73.82
Wagra singa	71.20	78.32	81.48	70.00	63.72	76.67	71.03	70.21	64.44	77.19	71.43	67.66	66.26	66.26	73.10
Chaucha amarilla alargada	65.31	63.64	66.97	66.91	79.00	67.91	70.92	74.05	67.42	76.04	73.39	68.69	74.48	73.00	77.06
Tushpa	70.21	72.25	77.05	81.48	79.42	75.29	68.32	85.90	68.03	71.94	66.67	68.64	73.21	61.11	83.19
Uvilla	72.57	65.68	68.00	84.98	83.83	80.58	74.24	71.83	77.18	77.58	79.70	66.08	69.58	85.87	82.43
Dolores	70.10	64.52	67.83	61.34	60.83	71.79	71.65	65.64	69.09	62.50	69.27	69.23	61.14	63.55	63.11
Violeta	49.64	49.47	49.06	84.43	85.15	73.74	72.07	76.49	78.29	73.94	72.08	69.94	75.00	79.54	77.61
Coneja blanca	67.89	69.06	72.11	70.27	68.45	66.45	64.56	76.98	75.30	67.02	69.19	76.96	67.73	77.23	87.46
Super violeta	65.85	68.84	67.35	84.58	82.50	73.58	64.83	71.11	86.07	76.72	65.38	75.00	73.29	74.55	84.11
Superchola	63.97	71.58	70.34	77.78	79.73	68.85	68.29	77.72	62.16	67.44	78.85	73.85	76.07	91.27	82.92
INIAP-Puca Shungo	68.84	67.90	69.96	70.13	74.34	77.27	61.81	70.45	78.11	81.82	67.42	71.72	74.24	68.15	66.26
INIAP-Yana Shungo	68.33	65.33	72.22	67.80	64.81	65.27	65.79	71.37	68.33	75.00	63.70	69.64	65.56	67.36	72.08
INIAP-Pan	63.13	70.83	66.81	77.55	81.82	65.75	67.12	76.18	88.72	86.58	68.25	74.62	59.15	89.47	81.38
INIAP-Estela	67.82	69.26	68.63	66.30	69.74	67.61	69.34	68.58	70.21	68.18	66.67	73.67	73.53	68.32	65.76
INIAP-Fripapa	69.29	67.23	68.60	84.95	81.51	69.51	62.77	78.98	76.73	68.62	68.89	64.85	72.22	75.31	82.03
INIAP-Natividad	63.64	64.71	72.57	72.58	77.43	66.21	61.97	74.44	74.15	67.12	77.33	71.57	81.70	62.55	75.61
INIAP-Victoria	68.35	72.35	72.60	80.71	80.48	71.88	67.82	69.95	86.94	73.49	69.32	65.50	64.89	81.41	85.29
98-11-6	67.79	78.74	73.33	75.27	77.43	71.28	62.38	75.30	72.34	79.75	72.82	68.95	68.79	82.17	79.03
05-15-1	74.33	76.92	72.84	68.00	71.04	63.44	59.09	61.06	67.92	67.97	62.37	65.48	77.22	73.37	78.57
97-25-3	72.73	74.75	78.32	82.05	73.44	74.88	73.79	75.47	75.25	72.41	71.58	63.12	67.23	71.01	77.12
98-2-6	77.38	68.35	63.16	77.93	69.10	63.92	65.24	66.09	72.66	76.32	64.60	66.13	76.04	72.79	69.74
99-99-2	72.22	71.31	68.93	82.79	85.11	70.91	72.60	71.43	81.34	17.32	75.00	65.48	72.45	75.45	71.30
00-24-1	69.94	68.37	64.52	76.82	74.29	56.41	68.81	61.11	68.81	85.50	61.72	62.72	66.95	71.17	82.53
00-23-3	65.57	65.56	63.10	79.44	68.95	66.48	66.12	73.26	79.88	83.69	69.49	66.79	75.00	67.18	71.14
05-35-6	76.79	70.10	77.99	75.89	80.14	63.43	72.41	66.35	71.96	69.43	62.70	71.79	76.04	60.21	79.49
05-22-11	74.75	69.94	68.87	82.43	73.64	71.92	69.23	73.98	72.31	72.57	66.36	67.52	70.28	78.69	71.73
399062-115	69.70	72.73	69.87	77.48	87.74	83.14	82.00	80.43	73.83	72.22	70.43	75.85	72.83	82.23	69.19
399075-26	71.90	67.92	72.29	86.73	79.77	69.70	65.47	70.75	77.78	66.99	71.25	69.47	78.64	78.52	79.82
399079-23	63.64	66.89	61.68	69.92	70.04	72.57	73.43	75.09	66.90	73.42	73.89	84.31	80.79	74.62	70.47

**Anexo 8.** Registro de datos de la variable nivel de daño en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

NIVEL DE DAÑO GENOTIPOS	8 días después de exponer a 3 °C					8 días después de exponer a 0 °C					8 días después de exponer a -3 °C				
	O1	O2	O3	O4	O5	O1	O2	O3	O4	O5	O1	O2	O3	O4	O5
Carrizo Cotopaxi	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Yana papa	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Wagra singa	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Chaucha amarilla alargada	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6
Tushpa	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Uvilla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Dolores	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Violeta	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Coneja blanca	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	6	6	6
Super violeta	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Superchola	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
INIAP-Puca Shungo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4
INIAP-Yana Shungo	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
INIAP-Pan	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
INIAP-Estela	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
INIAP-Fripapa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
INIAP-Natividad	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	6	6	6	6	5
INIAP-Victoria	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
98-11-6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
05-15-1	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
97-25-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
98-2-6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
99-99-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
00-24-1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	3	4
00-23-3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
05-35-6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
05-22-11	4	4	4	4	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
399062-115	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2
399075-26	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
399079-23	4	5	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6



**Anexo 9.** Registro de promedios de las Variables en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

VARIABLES	CC 10 días antes			CC 10 días después			CRA			Nivel de daño		
TEMPERATURAS	(3 °C)	(0 °C)	(-3 °C)	(3 °C)	(0 °C)	(-3 °C)	(3 °C)	(0 °C)	(-3 °C)	(3 °C)	(0 °C)	(-3 °C)
GENOTIPOS	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom
Carrizo Cotopaxi	49.67	45.52	45.32	42.57	37.77	42.94	50.64	66.33	67.55	4	6	6
Yana papa	41.47	41.49	43.16	37.04	36.67	36.26	76.31	70.14	71.47	4	6	6
Wagra singa	49.55	46.91	47.20	40.71	42.17	44.04	72.95	71.91	68.94	4	5	5
Chaucha amarilla alargada	46.43	43.63	41.83	30.01	33.73	33.88	68.37	71.27	73.32	3	5	6
Tushpa	45.21	44.41	45.15	36.51	35.56	42.05	76.08	73.90	70.57	0	1	1
Uvilla	51.29	48.31	49.90	38.12	34.43	39.96	75.01	76.28	76.73	0	0	1
Dolores	43.01	43.44	47.73	36.99	40.69	44.96	64.92	68.14	65.26	5	5	5
Violeta	39.81	41.20	40.99	28.37	33.40	34.08	63.55	74.91	74.83	4	6	6
Coneja blanca	49.31	49.59	46.95	36.39	34.72	39.44	69.56	70.06	75.71	1	1	6
Super violeta	40.28	40.55	42.76	32.91	32.59	33.48	73.82	74.46	74.47	4	5	5
Superchola	50.78	48.91	48.88	35.34	37.23	40.17	72.68	68.89	80.59	1	2	4
INIAP-Puca Shungo	49.13	48.01	53.23	40.16	41.09	43.62	70.23	73.89	69.56	1	1	4
INIAP-Yana Shungo	47.76	51.45	50.71	34.49	34.70	38.97	67.70	69.15	67.67	0	1	1
INIAP-Pan	42.83	43.26	45.98	38.89	40.92	40.06	72.03	76.87	74.58	4	6	6
INIAP-Estela	47.09	45.65	48.27	38.94	38.47	39.82	68.35	68.79	69.59	6	6	6
INIAP-Fripapa	49.18	51.81	50.15	39.65	40.93	43.41	74.32	71.32	72.66	1	1	1
INIAP-Natividad	45.51	46.82	45.21	40.09	39.68	39.06	70.19	68.78	73.75	2	4	6
INIAP-Victoria	49.25	50.96	47.21	39.93	42.37	41.52	74.90	74.01	73.28	1	2	4
98-11-6	49.30	50.11	49.21	35.71	35.93	38.55	74.51	72.21	74.35	5	6	6
05-15-1	49.86	42.29	47.57	35.79	32.78	33.67	72.63	63.90	71.40	4	6	6
97-25-3	44.11	44.90	44.96	38.17	33.51	36.89	76.26	74.36	70.01	0	0	0
98-2-6	51.44	51.71	49.01	38.83	39.03	42.29	71.18	68.85	69.86	6	6	6
99-99-2	40.65	38.40	44.45	33.78	31.79	34.11	76.07	62.72	71.93	1	1	3
00-24-1	41.99	47.15	40.59	37.43	36.95	37.23	70.79	68.13	69.02	1	2	4
00-23-3	44.91	45.50	47.50	34.12	33.77	36.25	68.52	73.89	69.92	4	5	5
05-35-6	48.62	48.57	50.15	34.41	35.31	36.74	76.18	68.72	70.05	5	6	6
05-22-11	48.76	46.69	48.15	33.91	36.19	37.01	73.93	72.00	70.92	4	6	6
399062-115	46.15	42.27	45.60	40.85	32.19	38.39	75.50	78.32	74.11	1	1	2
399075-26	43.78	45.96	46.74	38.91	38.88	37.20	75.72	70.14	75.54	6	6	6
399079-23	45.43	46.13	46.08	38.20	37.58	39.56	66.43	72.28	76.82	4	6	6

**Anexo 10.** Promedio y prueba de Tukey al 5 % para Interacción GxT en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

CONTENIDO RELATIVO DE AGUA			
		%	
INTERACCIÓN GxT	CRA	INTERACCIÓN GxT	CRA
Superchola x -3°C	80.59 a	Wagra singa x 0°C	71.91 a
399062-115 x 0°C	78.32 a	Yana papa x -3°C	71.47 a
INAIP-Pan x 0°C	76.87 a	05-15-1 x -3°C	71.40 a
399079-23 x -3°C	76.82 a	INAIP-Fripapa x 0°C	71.32 a
Uvilla x -3°C	76.73 a	Chaucha amarilla alargada x 0°C	71.27 a
Yana papa x 3°C	76.31 a	98-2-6 x 3°C	71.18 a
Uvilla x 0°C	76.28 a	05-22-11 x -3°C	70.92 a
97-25-3 x 3°C	76.26 a	00-24-1 x 3°C	70.79 a
05-32-6 x 3°C	76.18 a	Tushpa x -3°C	70.56 a
Tushpa x 3°C	76.08 a	INIAP-Puca Shungo x 3°C	70.23 a
99-99-2 x 3°C	76.07 a	INAIP-Natividad x 3°C	70.19 a
399075-26 x 3°C	75.72 a	399075-26 x 0°C	70.14 a
Coneja blanca x -3°C	75.71 a	Yana papa x 0°C	70.14 a
399075-26 x -3°C	75.54 a	Coneja blanca x 0°C	70.06 a
399062-115 x 3°C	75.50 a	05-32-6 x -3°C	70.05 a
Uvilla x 3°C	75.01 a	97-25-3 x -3°C	70.01 a
Violeta x 0°C	74.91 a	00-23-3 x -3°C	69.92 a
I-Victoria x 3°C	74.90 a	98-2-6 x -3°C	69.86 a
Violeta x -3°C	74.83 a	INAIP-Estela x -3°C	69.59 a
INAIP-Pan x -3°C	74.57 a	INAIP-Puca Shungo x -3°C	69.56 a
98-11-6 x 3°C	74.51 a	Coneja blanca x 3°C	69.56 a
Super violeta x -3°C	74.47 a	INAIP-Yana Shungo x 0°C	69.15 a-b
Super violeta x 0°C	74.46 a	00-24-1 x -3°C	69.02 a-b
97-25-3 x 0°C	74.36 a	Wagra singa x -3°C	68.94 a-b
98-11-6 x -3°C	74.35 a	Superchola x 0°C	68.89 a-b
INAIP-Fripapa x 3°C	74.32 a	98-2-6 x 0°C	68.85 a- b
399062-115 x -3°C	74.11 a	INAIP-Estela x 0°C	68.78 a-b
INAIP-Victoria x 0°C	74.02 a	INAIP-Natividad x 0°C	68.78 a-b
05-22-11 x 3°C	73.93 a	05-32-6 x 0°C	68.72 a-b
Tushpa x 0°C	73.90 a	00-23-3 x 3°C	68.52 a-b
INAIP-Puca Shungo x 0°C	73.89 a	Chaucha amarilla alargada x 3°C	68.37 a-b
00-23-3 x 0°C	73.89 a	INAIP-Estela x 3°C	68.35 a-b
Super violeta x 3°C	73.82 a	Dolores x 0°C	68.13 a-b
INAIP-Natividad x -3°C	73.75 a	00-24-1 x 0°C	68.13 a-b
Chaucha amarilla alargada x -3°C	73.32 a	INAIP-Yana Shungo x 3°C	67.7 a-b
INAIP-Victoria x -3°C	73.28 a	INAIP-Yana Shungo x -3°C	67.67 a-b
Wagra singa x 3°C	72.94 a	Carrizo Cotopaxi x -3°C	67.55 a-b
Superchola x 3°C	72.68 a	399079-23 x 3°C	66.43 a-b
INAIP-Fripapa x -3°C	72.66 a	Carrizo Cotopaxi x 0°C	66.33 a-b
05-15-1 x 3°C	72.63 a	Dolores x -3°C	65.26 a-b
399079-23 x 0°C	72.28 a	Dolores x 3°C	64.92 a-b
98-11-6 x 0°C	72.21 a	05-15-1 x 0°C	63.90 a-b
INAIP-Pan x 3°C	72.03 a	Violeta x 3°C	63.55 a-b
05-22-11 x 0°C	72.00 a	99-99-2 x 0°C	62.72 a-b
99-99-2 x -3°C	71.94 a	Carrizo Cotopaxi x 3°C	50.64 b

**Anexo 11.** Promedio y prueba de Tukey al 5 % para interacción GxT en el estudio de la respuesta a bajas temperaturas de 30 genotipos de papa (*Solanum* spp.), bajo condiciones controladas. Cutuglahua, Pichincha, 2013.

NIVEL DE DAÑO			
INTERACCIÓN GxT	GRADOS	INTERACCIÓN GxT	GRADOS
Tushpa x 3°C	0 a	Superchola x -3°C	4 f-g
Uvilla x 0°C	0 a	INAIP-Natividad x 0°C	4 f-g
Uvilla x 3°C	0 a	399079-23 x 3°C	4 g
97-25-3 x 0°C	0 a	98-11-6 x 3°C	5 h
97-25-3 x 3°C	0 a	Super violeta x -3°C	5 h
97-25-3 x -3°C	0 a	05-32-6 x 3°C	5 h
INAIP-Yana Shungo x 3°C	0 a	00-23-3 x -3°C	5 h
Coneja blanca x 3°C	1 b	Dolores x -3°C	5 h
Coneja blanca x 0°C	1 c	Dolores x 0°C	5 h
INAIP-Puca Shungo x 0°C	1 c	Wagra singa x -3°C	5 h
INAIP-Yana Shungo x -3°C	1 c	Super violeta x 0°C	5 h
99-99-2 x 0°C	1 c	00-23-3 x 0°C	5 h
INAIP-Fripapa x -3°C	1 c	Dolores x 3°C	5 h
399062-115 x 3°C	1 c	Wagra singa x 0°C	5 h
INAIP-Yana Shungo x 0°C	1 c	Chaucha amarilla alargada x 0°C	5 h
INAIP-Fripapa x 0°C	1 c	05-22-11 x 0°C	6 i
Tushpa x -3°C	1 c	INAIP-Natividad x -3°C	6 i
Superchola x 3°C	1 c	Yana papa x 0°C	6 i
99-99-2x 3°C	1 c	Yana papa x -3°C	6 i
399062-115 x 0°C	1 c	98-11-6 x 0°C	6 i
Tushpa x 0°C	1 c	98-11-6 x -3°C	6 i
INAIP-Fripapa x 3°C	1 c	399075-26 x 0°C	6 i
INAIP-Victoria x 3°C	1 c	399075-26 x -3°C	6 i
Uvilla x -3°C	1 c	INAIP-Estela x 0°C	6 i
INAIP-Puca Shungo x 3°C	1 c	INAIP-Pan x -3°C	6 i
00-24-1 x 3°C	1 c	Violeta x -3°C	6 i
Superchola x 0°C	2 d	INAIP-Estela x -3°C	6 i
INAIP-Victoria x 0°C	2 d	98-2-6 x 0°C	6 i
INAIP-Natividad x 3°C	2 d	98-2-6 x -3°C	6 i
00-24-1 x 0°C	2 d	Carrizo Cotopaxi x -3°C	6 i
399062-115 x -3°C	2 d	05-15-1 x 0°C	6 i
Chaucha amarilla alargada x 3°C	3 e	05-15-1 x -3°C	6 i
99-99-2 x -3°C	3 e	05-22-11 x -3°C	6 i
00-24-1 x -3°C	4 f	INAIP-Estela x 3°C	6 i
Yana papa x 3°C	4 f-g	98-2-6 x 3°C	6 i
Violeta x 3°C	4 f-g	05-32-6 x -3°C	6 i
INAIP-Pan x 3°C	4 f-g	05-32-6 x 0°C	6 i
05-22-11 x 3°C	4 f-g	Violeta x 0°C	6 i
05-15-1 x 3°C	4 f-g	399079-23 x -3°C	6 i
Wagra singa x 3°C	4 f-g	399079-23 x 0°C	6 i
Super violeta x 3°C	4 f-g	399075-26 x 3°C	6 i
Carrizo Cotopaxi x 3°C	4 f-g	Carrizo Cotopaxi x 0°C	6 i
00-23-3 x 3°C	4 f-g	INAIP-Pan x 0°C	6 i
INAIP-Puca Shungo x -3°C	4 f-g	Coneja blanca x -3°C	6 i
INAIP-Victoria x -3°C	4 f-g	Chaucha amarilla alargada x -3°C	6 i

## X. APÉNDICE



Clon 97-25-3 antes de exponer a  $-3^{\circ}\text{C}$



Clon 97-25-3 después de exponer a  $-3^{\circ}\text{C}$



Variedad nativa Uvilla antes de exponer a  $-3^{\circ}\text{C}$



Variedad nativa Uvilla después de exponer a  $-3^{\circ}\text{C}$





Variedad mejorada Superchola antes de exponer a -3°C (izquierda)

Variedad mejorada Superchola después de exponer a -3°C (derecha)



Clon 00-24-1 antes de exponer a -3°C

Clon 00-24-1 después de exponer a -3°C



Variedad mejorada INIAP-Puca Shungo antes de exponer a  $-3^{\circ}\text{C}$  (izquierda)  
 Variedad mejorada INIAP-Puca Shungo después de exponer a  $-3^{\circ}\text{C}$  (derecha)



Variedad mejorada INIAP-Estela antes de exponer a  $-3^{\circ}\text{C}$  (izquierda)  
 Variedad mejorada INIAP-Estela después de exponer a  $-3^{\circ}\text{C}$  (derecha)





Genotipos antes del estrés



Genotipos después del estrés



Genotipos en el fitotrón



Toma de datos de la variable contenido de clorofila